



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **301185**

(13) B1

(51) Int Cl⁶ E 21 B 47/08

Patentstyret

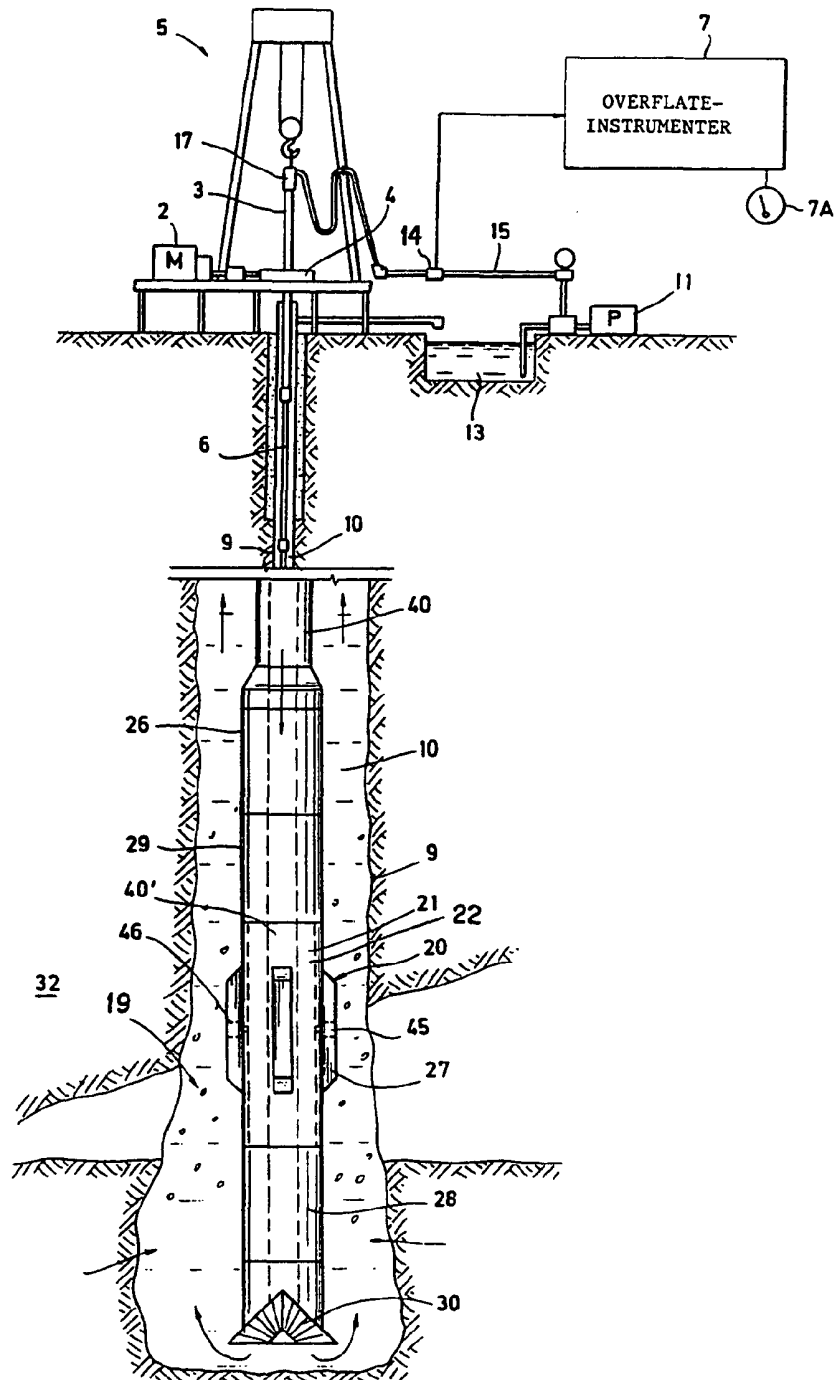
(21) Søknadsnr	911731	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	
(22) Inng. dag	02.05.91	(85) Videreføringsdag	
(24) Løpedag	02.05.91	(30) Prioritet	16.05.90, US, 525268
(41) Alm. tilgj.	18.11.91		
(45) Meddelt dato	22.09.97		
(73) Patenthaver	Schlumberger Technology BV, Carnegreleen 12, NL-2517 KM Haag, NL		
(72) Oppfinner	Jacques Orban, Sugar Land, TX, US		
	James C. Mayes, Sugar Land, TX, US		
(74) Fullmektig	Arild Friberg, Bryn & Aarflot AS, 0104 OSLO		

(54) **Benevnelse** Ultrasonisk måleapparat og -fremgangsmåte

(56) **Anførte publikasjoner** US 4571693, US 4665511, US 4947683

(57) **Sammendrag**

Oppfinnelsen angår et pulsekkoapparat og en fremgangsmåte for å måle karakteristika ved et borehull mens det blir boret. En komponent i bunnenheten, fortrinnsvis et vektør, er utstyrt med én eller flere ultrasoniske sender/mottagere. En puls/ekko-sensor i sender/mottageren er fortrinnsvis plassert i en stabilisatorfinne på vektørret, men kan også plasseres i vektørrets vegg, fortrinnsvis nær en stabilisatorfinne. Elektroniske prosessor- og styringskretser for puls/ekkosensoren er anordnet i elektronikkmodulen som er plassert inne i et slikt vektør. Et slikt pulsekkoapparat, som fortrinnsvis omfatter to diametralt motstående sender/mottagere, genererer signaler fra hvilke avstanden fra borehullveggen kan bestemmes. En fremgangsmåte og et apparat er anordnet for å måle avstanden og borehullets diameter i nærvær av borkaks som er oppfanget i borefluidet. I en foretrukken utførelse blir slike signaler evaluert av de elektroniske prosessor- og styringskretser for å bestemme om gass er kommet inn i borehullet. Tre fremgangsmåter og apparater er anordnet for slik gassinnstrømningsbestemmelse. Den første benytter måling av sonisk impedans i borefluidet ved å evaluere amplituden til et ekkosignal fra et grensesnitt mellom borefluidet og en forsinkelseslinje som er plassert utad fra en keramikkensor. Den andre benytter måling av borefluidets demping for et borehullvegg-ekko. Den tredje benytter måling av fasen til oscillasjonene av ekkoer for å identifisere inntrengning av store gassbobler. Puls/ekko-sensoren omfatter en sensorstabel med et bakkingselement, en piezoelektrisk keramikkskive og en forsinkelseslinje.



Oppfinnelsen angår generelt ultrasoniske målinger av borehullkarakteristika. Mer spesielt angår oppfinnelsen apparater og fremgangsmåter for ultrasonisk måling av borehullegenskaper mens en brønn blir boret. Enda mer spesielt, angår oppfinnelsen måling av borehulldiameter og gassinnstrømning i et borehull mens det blir boret. Oppfinnelsen angår også en spesiell ultrasonisk føler som er inkludert i apparatet for måling av slike egenskaper.

Apparatet og fremgangsmåten ifølge denne oppfinnelsen tilveiebringer måling av borehulldiameter og deteksjon av gassinnstrømning mens en brønn blir boret.

Kunnskap om et borehulls diameter mens det blir boret er viktig for boreren fordi korreksjoner kan iverksettes av boreren i sann tid, og unngå de forsinkelser som ligger i tripping av borestrengen og utføring av loggeaktiviteter i åpent hull. Hvis borehullets diameter er for stor, kan dette indikere at boreslamstrømmen er feilaktig, eller at slammet har en feilaktig kjemisk karakteristikk eller at brønnens hydrostatiske trykk er for lavt, eller at det er en annen kilde av ustabilitet i brønnhullet. Hvis hullets diameter er for liten, kan dette indikere at borekronen er slitt og bør utskiftes for å unngå behovet for senere rømming.

Ustabilitet i brønnhullets diameter øker risikoen for at borestrengen kan kile seg fast i borehullet. Et fastkilt rør betyr en kostbar og tidskrevende fiskejobb for å få opp borestrengen, eller avvik av hullet etter tapet av den nederste del av borestrengen. Det er viktig at boreren mottar informasjon om variasjoner i brønnhullets diameter i sann tid, slik at korreksjoner kan iverksettes.

Borehulldiameter som en funksjon av dybde er også viktig informasjon for boreren når borehullet må holdes åpent i lengre tid. Overvåking av brønnhullets diameter når borestrengen blir trippet ut av borehullet gir informasjon til boreren angående korrekte borehullkarakteristika i forhold til formasjonens egenskaper.

Kunnskap om borehullets diameter hjelper også boreren

når avviksbrønner blir boret. Når et borehull har feil dimensjon, er retningsboring vanskelig på grunn av at borestrengen, bunnenheten og vektrørstabilisatorene ikke er i kontakt med borehullveggene som forutsatt av boreren. Sanntids kunnskap om borehullets diameter gir informasjon som man kan basere avgjørelser på når det gjelder retningsboring. Slike avgjørelser kan eliminere behovet for å trippe borestrengen for å modifisere bunnenheten for å korrigere et problem med avvik av hullets kurve.

Sanntids kunnskap om et brønnhulls diameter er viktig for logging under boring (LWD) operasjoner. Visse målinger, spesielt nukleære målinger i formasjon, er følsomme for borehulldiameteren. Kunnskap om brønnhullets diameter under visse forhold kan være kritisk for bekreftelse eller korreksjon av slike målinger.

US-patent nr. 4.665.511 beskriver et system for måling av diameteren til en brønn mens den blir boret. Et slikt system anordner ultrasoniske transdusere på diametralt motsatte sider av en boresub. Det er basert på mottaking av ekko fra utsendte pulser fra boreveggene, men slik mottaking blir ofte forstyrret ved nærvær av borekaks i borevæskan. Målingen av diameteren til et borehull ved bruk av apparatet ifølge det nevnte patent kan også være unøyaktig når suben ikke er sentralisert med borehullets akse. Slike unøyaktigheter kan oppstå når boresuben er nær borehullets vegg, og subens diameter er mindre enn borehullets diameter. Under slike forhold er den "diameter" som føles av boresuben i virkeligheten en korde av borehullet, som er mindre enn den virkelige borehulldiameter.

Identifisering av oppfinnelsens mål med hensyn til borehullets kalibermåling er beskrevet nedenfor etter at de andre aspekter ved oppfinnelsen er beskrevet.

Gassinnstrømming eller tilbakeslag i et borehull er en alvorlig fare i boreteknikken, siden tilbakeslag, hvis de ikke kan kontrolleres, kan forårsake brønnutblåsninger. Brønnutblåsninger kan resultere i tap av liv, skade på kostbart boreutstyr, tap av naturressurser, og skade på

miljøet.

Tilbakeslagsdeteksjon under drilling har ifølge tidligere teknikk typisk involvert observasjon av slammets strømningshastighet og/eller slamtankvolumet. Følgelig har nesten alle borerigger som bruker boreslam til å styre trykket i borehullet en form for tanknivåindikasjonsanordning som indikerer en økning eller minking av slammets nivå. En indikasjon og registreringsanordning for slammnivået, såsom et kart, er vanligvis plassert på et slikt sted at boreren kan se kartet mens boringen pågår. Når et tilbakeslag oppstår, er det overflatetrykk som er nødvendig for å motvirke tilbakeslaget i høy grad avhengig av rask stenging av brønnhodet BOP, og at man beholder mest mulig av boreslammet i brønnen.

Strømningsmålere som viser relative endringer i slammets returstrøm har også vært brukt til å varsle om tilbakeslag, fordi opphopninger av slam i styringsanordninger for faststoffer, avgassningsanordninger og blandingsutstyr påvirker gjennomsnittlig slamtanknivå. Variasjoner i tanknivået på grunn av slike faktorer gjentar seg periodisk under boringen, og kan oppstå samtidig som et tilbakeslag. Når slike forhold er tilstede, kan returstrømhastigheten være den første indikasjon på et tilbakeslag.

For å oppdage tilbakeslag så tidlig som mulig under boring, benytter boreren typisk øyeblikksskatt av gjennomsnittlig borevolum i slamtanken, økning eller minking av slam i tanken, og returstrømhastighet. Tankvolumet og returstrømhastigheten blir fortrinnsvis vist (og om mulig registrert ved hjelp av en graf) på boredekket slik at tendenser kan observeres. Så snart det oppstår en uventet endring i tendensen, kan boreren sjekke for en tilbakeslagstilstand.

Disse tidligere kjente teknikker på tilbakeslagsdeteksjon i landboreoperasjoner krever typisk ti til tyve minutter forsinkelse fra den tid en gassinnstrømning oppstår på bunnen av brønnen til tankvolumet eller returstrømhastigheten er tilstrekkelig påvirket til å detekteres. For

operasjoner til sjøs er en slik forsinkelse dobbelt så lang som for landoperasjoner.

På grunn av at et tilbakeslag kan føre til en utblåsing med mulige katastrofale resultater, har man tidligere gjort forsøk på å oppnå informasjon om gassinnstrømninger i borehullet før en slik gassutstrømning kan påvirke slamvolumet eller returstrømhastigheten. US-patent nr. 4.571.693 viser et apparat for å måle boreslammets egenskaper ved hjelp av en sonde som er innrettet for å innføres i en borestreng. En slik sonde omfatter en ultrasonisk transduser som tjener til å emittere soniske pulser og å motta ekkosignaler. En åpning i banen for de ultrasoniske pulser er anordnet slik at boreslammet kan entre åpningen. Refleksjoner fra en nær overflate av åpningen og fra en fjern overflate av åpningen blir analysert. Slik analyse sies å tillate bestemmelse av lydhastigheten i boreslammet, sonisk dempning, produktet av fluidumtetthet og sammenpressbarhet, viskositet osv.

Nevnte patent beskriver ikke et praktisk system for et miljø med måling under boring nede i et borehull, på grunn av at sondens åpning kan raskt bli fylt med slampartikler. Slik fylling av åpningen gjør sonden ubrukbar til å bestemme egenskapene til boreslammet nede i borehullet. Apparatet og fremgangsmåten ignorerer også nærvær av borkaks i boreslammet, som påvirker de restriksjoner som blir mottatt av en ultrasonisk transduser.

Identifisering av oppfinnelsens mål med hensyn til målinger for deteksjon av gassinnstrømning og tilbakeslag, er beskrevet nedenfor.

Det boremiljø som en ultrasonisk sensor må funksjonere i hvis den skal måle borehullet og borefluidets karakteristika under boring, er skremmende. Sjokk og vibrasjoner opptil 650 G/msek. i borestrengen gjør ultrasoniske sensorer ifølge tidligere teknikk ubrukbare. Sensorer for måling under boring må overleve i flere dager, ulik trådloggingssensorer, på grunn av at boringen fortsetter i så lang tid. Støy som skapes av høyhastighets

boreslam gjennom boreverktøyet og av verktøyets anslag mot stenformasjonene må elimineres i signalbehandlingen. I tillegg må sensorene være i stand til motstå trykk på opptil 1760 kp/cm² og temperaturer på opptil 150°C, såvel som mekanisk slitasje og direkte anslag på sensorens overflate.

Identifisering av oppfinnelsens formål når det gjelder ultrasoniske sensorer er beskrevet nedenfor.

Et primært formål med oppfinnelsen er å måle under boring borehullets diameter og verktøyets avstand, ved pulsekkoteknikk og ved å gjenkjenne og eliminere refleksjoner fra borkaks i boreslammet som returnerer til overflaten mellom verktøyet og borehullveggen.

Et annet formål med oppfinnelsen er å måle under boring, borehullets diameter og verktøyets avstand ved pulsekkoteknikk, og å behandle slike målinger statistisk nede i borehullet for å frembringe en vesentlig forbedring av målingenes nøyaktighet.

Et ytterligere formål med oppfinnelsen er å montere en pulsekkosensor på eller nær en stabilisator for et boreverktøy for å minimalisere unøyaktigheter forårsaket ved at et slikt verktøy ikke er sentralisert med borehullets akse.

Enda et formål med oppfinnelsen er å måle under boring, borehullets diameter og verktøyavstanden med pulsekkoteknikk, og å overføre et signal som representerer dette til overflaten.

Et annet primært formål med oppfinnelsen er å frembringe en praktisk og pålitelig fremgangsmåte og apparat for å måle gassinntrengning i en brønn mens den blir boret, samt telemetriooverføring av et signal som representerer denne målingen til overflaten.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe en fremgangsmåte og et apparat for å detektere gassinnstrømning i et borehull selvom borkaks er oppfanget i borehullets fluidum.

Et ytterligere formål med oppfinnelsen er å frembringe en fremgangsmåte og et verktøy for å bedømme gassinnstrøm-

ningen i et borehull ved pulsekkomålinger av strømmende borefluidum når det returneres til overflaten i ringrommet mellom verktøyet og borehullet.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe alternative teknikker for å bedømme gassinnstrømninger i et borehull og å bruke slike teknikker som dublerede indikatorer av gassinnstrømning.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe et apparat og fremgangsmåte for å måle sonisk impedans i borefluidet i et borehull ved å bedømme ekkoene fra grensesnittet mellom en forsinkelseslinje og et slikt borefluidum.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe et apparat og fremgangsmåte for å måle sonisk dempning i borefluidet i borehullet ved å bedømme ekkoene fra borehullveggen.

Enda et formål med oppfinnelsen er å frembringe et apparat og en fremgangsmåte for å detektere store bobler i borehullets borefluidum.

Et annet primært formål med oppfinnelsen er å frembringe en ultrasonisk føler og tilsvarende elektronikkutstyr, og et verktøy i hvilket utstyret er plassert, som kan overleve i de ekstremt høye krefter, temperaturer, trykk og støy som er tilstede i et borehull mens det blir boret.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe en verktøykonstruksjon og en ultrasonisk sensor som ikke blir belagt med slam under måling av karakteristikkene til bore-slammet mens det strømmer forbi sensoren.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe en sensorenhet som omfatter en forsinkelseslinje med en konstruksjon for å fokusere ultrasoniske pulser mot borehullet.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe en sensorenhet som skaper en jevn utvendig profil med et boreverktøy nede i borehullet, for å hindre kakedannelse av partiklene i boreslammet i banen for ultrasoniske pulser og ekkoer.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe en

monteringskonstruksjon for en pulsekkosensorenhet i et verktøy nede i et borehull for å beskytte enheten mot ekstremt høye sjokk-krefter.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe en pulsekkosensorenhet som tar hensyn til varmeutvidelse av komponentene på grunn av ekstremt høye temperaturer i borehullet.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe en pulsekkosensorenhet som hindrer inntrengning av fluidum i sensorkomponentene, selv under ekstremt høye trykk i borehullmiljøet.

Et annet formål med oppfinnelsen er å frembringe en mekanisk støyavvisningskonstruksjon for å redusere støyen som genereres av slam som strømmer med hastighet gjennom boreverktøyet, og dermed tillater et større område for signaldeteksjon etter dempning.

Enda et formål med oppfinnelsen er å frembringe elektroniske styrings- og behandlingskretser for å emittere og motta ultrasoniske pulser og ekkoeer, og for å behandle ekkodata til å generere kaliber- og gassinnstrømnings-signaler.

Ifølge oppfinnelsen er det tilveiebrakt et borehull-måleapparat som defineres nøyaktig i det vedføyde patentkrav 1, samt en fremgangsmåte for å detektere gassinnstrømning på et sted i et borehull ved hjelp av apparatet. Fremgangsmåten defineres nøyaktig i det vedføyde patentkrav 10. De formål som er identifisert ovenfor, såvel som andre fordeler og trekk ved oppfinnelsen, er fortrinnsvis inkludert i et ultrasonisk system som er anbragt inne i et apparat for måling under boring (MWD) eller logging under boring (LWD) for å utføre hullkaliber-overvåking og/eller gassinntreningsdeteksjon.

Systemet omfatter en ultrasonisk sender/mottager som er installert i et vektrør. Slike vektrør virker i boreprosessen for å legge vekt på kronen osv. Det virker m.a.o. som et vanlig vektrør, uavhengig av MWD-måleapparatet som er beskrevet her. En annen identisk sender/mottager er

fortrinnsvis installert i motsatt azimutposisjon til den første sender/mottager i samme vektør og i samme aksielle stilling. Denne andre sender/mottager forbedrer påliteligheten for gassdeteksjon og kaliberpresisjon.

Sender/mottageren er konstruert for å generere en ultrasonisk puls i slammet i en retning som er perpendikulær med vektørets overflate. Bølgepulsen beveger seg gjennom slammet, reflekteres fra formasjonens overflate og kommer tilbake til samme sender/mottager, som etter at den ultrasoniske puls er emittert, virker som mottager. Passeringstiden for pulsen i slammet er proporsjonal med verktøyets avstand fra borehullveggen.

Sender/mottageren omfatter en fast "forsinkelseslinje" mellom en keramikkensensor og boreslammet. En slik "forsinkelseslinje" reflekterer en del av den emitterte puls tilbake til sensoren fra grensesnittet mellom forsinkelseslinjen og slammet. Amplituden til en slik puls er avhengig av den soniske impedans i slammet. Slik sonisk impedans er direkte avhengig av mengden av gass i slammet, dvs. den avhenger av slammets tetthet. Følgelig er boreslammets soniske impedans en viktig parameter for deteksjon av gassinnstrømning nede i borehullet.

Anordning av en forsinkelseslinje foran den soniske sensoren tillater med fordel ekkodeteksjon hvor verktøyet er nær borehullet. Dessuten gir en slik forsinkelseslinje fokusering, beskyttelse av sensoren, og andre mekaniske funksjoner som beskrevet nedenfor.

I tillegg til sender/mottageren, omfatter borestrengens vektør elektroniske kretser, en mikroprosessor, og minnekretser for å styre sensoren og for å motta ekkosignaler og behandle dem. Behandlede signaler kan lagres i et minne nede i borehullet (f.eks. kaliber), eller kan sendes til overflaten med en standard pulsanordning og fremgangsmåte for måling under boring. Begge fremgangsmåtene (lagring og sending) kan brukes samtidig. Alternativt kan kaliber-signalene lagres og gassinnstrømningssignalene sendes til overflaten i sann tid.

Apparatet ifølge oppfinnelsen frembringer en verktøy-avstandsmåling for å bestemme hullets diameter når verktøyet roterer (som normalt er tilfelle under boring), eller når verktøyet er stasjonært. Når verktøyet roterer, vil sender/mottageren sende soniske pulser gjennom slamåpningsavstanden mellom verktøyet og borehullveggen. Slike åpninger varierer med verktøyets rotasjon. De målte avstander blir akkumulert for statistisk behandling, og den gjennomsnittlige hulldiameter blir beregnet etter flere omdreininger. Flere avstandsmålinger blir fortrinnsvis evaluert hvert sekund. På grunn av at den typiske borestreng rotasjonshastighet er mellom omkring 50 til 200 RPM, vil en gjennomsnittlig oppsamlingstid fra omkring 10 til omkring 60 sekunder skape tilstrekkelig data for nøyaktig gjennomsnittsberegning.

Anordning av en annen sender/mottager diametralt overfor den første forbedrer diametermålene når verktøyaksen beveger seg fra side til side i brønnhullet under boring. En sender/mottager måler avstanden på sin side. Umiddelbart deretter vil den andre sender/mottageren måle avstanden på den andre side av verktøyet. En øyeblikkelig avfiring av begge sender/mottagerne er ikke nødvendig sålenge verktøyets bevegelse i tiden mellom de to sender/mottagernes målinger er liten.

Hullets diameter bestemmes ved å addere verktøyets diameter til avstandene som blir målt ved suksessive avfiringer. Et antall borehulldiameter-bestemmelser blir akkumulert, og gjennomsnittet tatt for å produsere en borehullmåling. Ytterligere behandling ifølge oppfinnelsen angår behandling for å vrake falske ekko. En slik behandling identifiserer formasjonsekkoer som oppstår etter ekkoene fra borkaks i borefluidet. Behandlingen skiller også ut formasjonsekkoer fra forskjellige ankomster, og fra sensorstøy.

Et viktig trekk ved den spesielt foretrukne utførelse av den foreliggende oppfinnelse er å montere sender/mottagerne nær en stabilisator eller på stabilisatorbladene på

vektørret. Slik plassering av sender/mottageren forbedrer nøyaktigheten ved kalibermåling.

Gassinnstrømning eller et tilbakeslag blir detektert ved to teknikker som kan brukes individuelt, eller sammen for å bekrefte hverandre. Den første teknikken er å måle den soniske impedans i slammet i borehullet mens borehullet blir boret. Den andre teknikken er å måle dempningen i slammet i borehullet mens det blir boret.

For å måle slamimpedansen omfatter sender/mottageren en forsinkelseslinje foran sensoren. Når en sonisk puls blir emittert fra sensoren, når den frontoverflaten og forsinkelseslinjen. En del av lydimpulsen blir sendt inn i boreslammet. Den andre delen blir reflektert tilbake mot sensoren. På grunn av at refleksjonsfaktoren avhenger av slammets impedans, er amplitudemålet for det reflekterte signal representativt for slammets impedans som en funksjon av tid. Forekomst av gassinnstrømning kan bestemmes ved å overvåke variasjoner i den målte slamimpedans mot tid, eller alternativt ved å sammeligne den målte slamimpedans med et referansemål av impedansen for "rent" slam.

Slammets dempning er definert som reduksjonen av signalamplituden med økende avstand. Måling av slammets dempning krever flere målinger av amplituden til det soniske ekkosignal etter at det har beveget seg forskjellige avstander i slammet. Et slikt ekko for denne oppfinnelsen er borehullekkoet som returnerer til sensoren etter refleksjon fra borehullets vegg. Det er viktig at den emitterte puls i amplitude og frekvens blir opprettholdt i hovedsak konstant for alle de forskjellige målinger av dempningen.

For en forutbestemt måleperiode, blir flere avstandsverdier målt mens verktøyet beveger seg i brønnhullet. For hver avstand blir amplituden til formasjonens ekko målt. Deretter blir logaritmeverdien til denne amplituden mot avstanden lagret i en tabell. Steilheten til en linje som er tilpasset logaritmene til amplitudeverdiene blir bestemt.

En viktig fordel med fremgangsmåten og apparatet ifølge

oppfinnelsen over andre fremgangsmåter for å overvåke slam-dempning er utførelsen av målinger gjennom en slamprøve som er en del av borefluidets strøm i ringrommet mellom borehullveggen og boreverktøyet. Følgelig er det ingen risiko for å plugge en "gap" måling med borkaks, boreavfall eller klebrig leire, på grunn av at slamstrømmen og verktøyets bevegelse gjennom slammet rengjør sensoroverflaten.

Den ultrasoniske sensorenheten er innrettet til å plasseres i veggen eller stabilisatorpinnen på et vektør som er plassert over borekronen i en boreenhet nede i borehullet. Den ultrasoniske sensorenheten omfatter en sensorstabel som har et indre lydabsorberende bakkingselement, en piezoelektrisk keramikkskive stablet utover nær bakkingselementet, og en forsinkelseslinje. En slik forsinkelseslinje er fabrikkert av et stivt plastmateriale, og er anbragt utover fra keramikkskiven. En slik forsinkelseslinje omfatter en utadvendt fordypning for å fokusere en ultrasonisk puls inn i boreslammet mot borehullveggen. En elastomer eller epoksy fyller fordypningen for å presentere en jevn overflate til det strømmende slam og borehullveggen.

Sensorenheten omfatter elektroder som er festet til den ytre og den indre overflate på keramikkskiven, og kontaktpinner for å forbinde enheten med elektronikkmodulen som er anbragt inne i vektørret. En slik elektronikkmodul omfatter styrings- og behandlingskretser og lagret logikk for å emittere ultrasoniske pulser via keramikkskive-sensoren, og for å generere ekkosignaler som representerer ekkoene fra slike pulser som returneres til skivesensoren. En slik elektronikkmodul omfatter fortrinnsvis også en kilde for elektrisk energi (såsom et batteri eller en kilde for likestrøm fra et MWD-verktøy) og et minne nede i borehullet for å lagre signaler som en funksjon av tid. Den danner grensesnitt med en MWD telemetrimodul for å sende målingsinformasjon til overflaten under boring, i sann tid.

Bakkingselementet for den ultrasoniske sensorenhet er karakterisert ved en fast del (fortrinnsvis, men ikke

nødvendigvis sylindrerformet) anbragt innad nær keramikkskiven, og en avkortet kjegleformet del som er anbragt innad nær den faste sylindriske del.

Sensorstabelen omfatter en gummikappe som er anbragt rundt bakkingsmaterialet, keramikkskiven og et tilpasset lag som er anbragt utad nær keramikkskiven. Et rør av elastomermaterialer er plassert mellom gummikappen og en metallkopp som sensorstabelen er plassert i. Forsinkelseslinjen er fjærmontert i koppen utenfor gummikappen og elastomerrøret som ligger rundt sensorstabelen.

To støykilder er tilstede i nærheten av sensorstabelen i verktøyet. Den første kan karakteriseres som borestøy som ligger i et lavere frekvensbånd enn det akustiske puls/ekko-apparat for sensoren. Den andre er pumpestøy, som er karakterisert ved et frekvensbånd som strekker seg inn i frekvensbåndet til puls/ekko-apparatet.

Pumpestøyen blir mekanisk filtrert, ikke bare av gummikappen som ligger rundt sensorstabelen, men også av en filterring som er montert radielt utover fra keramikkskiven rundt gummikappen. Bakkingselementet er sjokkbeskyttet ved en gummipakning mellom elementet og elastomerhylsen som ligger rundt stabelen.

Borestøy, som kan ha ekstremt høy amplitude, blir delvis mekanisk filtrert av gummikappen og filterringen som beskrevet ovenfor, og delvis elektronisk filtrert. Elektronisk filtrering blir oppnådd ved et elektronisk høypassfilter som er plassert før signalforsterkningen for å unngå metning av forsterkningen, som kunne maskere ultrasonisk signaldeteksjon under forsterkerens mettnings- og gjenvinningstid.

Formål, fordeler og trekk ved oppfinnelsen vil fremgå med henvisning til tegningene, hvor like tall indikerer like deler, og hvor en illustrerende utførelse av oppfinnelsen er vist, hvor:

Fig. 1 illustrerer et ultrasonisk måleverktøy som er plassert i en borestreng i et roterende boresystem, hvor

verktøyet måler borehullets diameter og innstrømning av fluidum i borehullet, mens borestrengen dreier seg eller er stasjonær;

fig. 1A illustrerer en alternativ plassering av en ultrasonisk sensorenhet i veggen på et vektrør, istedenfor i stabiliseringspinnene på et slikt vektrør;

fig. 2A illustrerer i skjematisk form den ultrasoniske sensorenhet ifølge oppfinnelsen, og fig. 2B illustrerer en foretrukken utførelse av sensorenheten ifølge oppfinnelsen;

fig. 3 illustrerer i blokkdiagramform kretsene, data-maskinen og lager et program for et verktøys elektronikkmodul som styrer avfyringen av en kildepulssender og ekkosignal mottagelsen for en eller flere sensorer, og som behandler ekkodata for å generere signaler som representerer borehullets diameter, slamimpedans og slamdempning, og fig. 3B illustrerer implementering, ved hjelp av et lagret program, av et avfyrings/terskel/tellerapparat og fremgangsmåte for å digitalisere filtrerte ekkosignaler;

fig. 4 er et skjematisk diagram som illustrerer generering av ultrasoniske pulser ved keramikkskiven i sensorstabelen, ekkoeene fra grensesnittet mellom forsinkelseslinjen og boreslammet, og ekkoeene fra formasjonen eller borehullveggen;

fig. 5 er en spenning mot tid illustrasjon av den ultrasoniske puls som emitteres inn i boreslammet mot borehullveggen, og forskjellig returekkopulser fra grensesnittet mellom forsinkelseslinjen og boreslammet og fra borehullveggen;

fig. 6A og 6B illustrerer, skjematisk og med en grafisk fremstilling av spenning mot tid for den relative amplitude og tidsadskillelse av emitterte ultrasoniske pulser og returekkoet, først fra grensesnittet mellom forsinkelseslinjen i sensorstabelen og boreslammet i borehullet, og deretter fra borehullveggen;

fig. 7A og 7B illustrerer skjematisk og ved en grafisk fremstilling av spenning mot tid, den relative amplitude og

tidsforsinkelse av en emittert ultrasonisk puls og returekkoer fra forsinkelseslinjen/boreslam-grensesnittet, fra borehullveggen og fra borkaks i boreslammet.

Fig. 8A og 8B er illustrasjoner i likhet med de på fig. 5A, 5B og 6A, 6B som illustrerer små gasskonsentrasjoner i borefluidet, som resulterer i en økning av sonisk dempning i borefluidet, hvilket reduserer amplituden til borehullekkoet;

fig. 9A og 9B er illustrasjoner som ligner de på fig. 7A og 7B, men for et tilfelle med høy konsentrasjon av små gassbobler i borefluidet, som resulterer i nesten total dempning av borehullekkoet, men som også resulterer i en økning i amplituden til forsinkelseslinje/borefluidum-ekkoet på grunn av en endring i den soniske impedans;

fig. 9C og 9D er illustrasjoner som ligner på de på fig. 9A og 9B, men for et tilfelle med større gassbobler i borefluidet, som resulterer i et ekko med stor amplitude som blir følt etter forsinkelseslinje/borefluidum-ekkoet;

fig. 10 illustrerer ekkoer som blir følt på grunn av borkaks som er oppfanget i borefluidet;

fig. 11 illustrerer at det kan mottas ekkoer som er multiple refleksjoner fra borehullet;

fig. 12 illustrerer sent ankomne støytopper som er resultat av virkelige formasjonsekkkoer;

fig. 13 er et flytdiagram som illustrerer logiske trinn utført av en datamaskin i verktøyets elektronikkmodul for å identifisere borehullekkoer og forsinkelseslinjeekkoer under tilstander som er illustrert på fig. 6A, 6B til 12;

fig. 14 illustrerer grafisk bestemmelse av slamdempningen ved å plote logaritmen til amplituden av borehullekkoene som en funksjon av verktøyavstanden; og

fig. 15 illustrerer de variable faktorer i slamimpedans og slamdempning i decibel, plottet som en funksjon av boretid, med spesielle illustrasjoner av effekten på slike variable faktorer av gassinnstrømning i borehullet på et gitt tidspunkt.

Fig. 1 illustrerer et roterende boreriggsystem 5 som

har et apparat for detektering, under boring, av borehullets diameter og gassinnstrømning i borehullet. Målinger nede i borehullet blir utført med instrumenter som er anbragt i vektørret 20. Slike målinger kan lagres i et minne i instrumentene nede i borehullet, eller de kan sendes til overflaten via konvensjonelle telemetriapparater for måling under boring. For dette formål er det en MWD verktøysub, skjematisk illustrert som verktøy 29, som mottar signaler fra instrumentene i vektørret 20, og sender dem via boreslambanen i borestrengen 6 og endelig til overflateinstrumentene 7 via en trykksensor 14 i pumperøret 15.

Boreriggen 5 omfatter en motor 2 som dreier et drivrør 3 ved hjelp av et roterende bord 4. En borestreng 6 omfatter seksjoner av borerør forbundet ende til ende med drivrøret, og dreiet av dette. Et flertall vektør, såsom vektørene 26 og 28 og vektørret 20 ifølge denne oppfinnelsen, såvel som ett eller flere MWD-verktøy 29 er festet på borestrengen 6. Slike vektør og verktøy danner en bunn-boreenhet mellom borestrengen 6 og borerøret 10 og borekronen 30.

Når borestrengen 6 og bunnenheten dreier seg, vil borekronen 30 bore hullet 9. Et ringrom 10 blir definert mellom utsiden av borestrengen 6 og bunnenheten, og borehullet 9 gjennom jordformasjonen 32.

Borefluidum eller slam blir tvunget av pumpen 11 fra slamtanken 13, via pumperøret 15 og et revolverende injeksjonshode 17, gjennom det hule senter i drivrøret 3 og borestrengen 6 til kronen 30. Slik boreslam virker til å smøre borekronen 30 og å bære borkaks oppover til overflaten via ringrommet 10. Slammet blir returnert til slamtanken 13 hvor det blir skilt fra borkaks og lignende, avgasset og returnert til borestrengen for bruk igjen.

Verktøyet 20 ifølge oppfinnelsen omfatter minst én ultrasonisk sender/mottager 45, men fortrinnsvis også en annen sender/mottager 46 plassert diametralt overfor den første, for å måle borehullets karakteristika mens det blir

boret.

Slike målinger blir fortrinnsvis utført mens borehullet blir boret, men de kan også utføres med borestrengen og bunnheten i borehullet, uten at kronen, bunnheten og borestrengen dreier seg. Slike målinger kan også utføres mens hele strengen, bunnheten og kronen blir trippet til og fra bunnen i borehullet, men den primære bruk av målingen er mens borehullet blir boret. Som nevnt ovenfor kan slike karakteristika ved borehullet 9 bli sendt med telemetri til overflaten via MWD-telemetriverktøyet 29 og den innvendige slampassasje i borestrengen 6 eller de kan registreres og lagres nede i borehullet og leses ut på overflaten etter at borestrengen er fjernet fra borehullet, som skal forklares nedenfor.

Sender/mottagerne 45 og 46 er fortrinnsvis montert på stabilisatorfinnene 27 på vektrøret 20, eller de kan monteres i den sylindriske veggen 23 til vektrøret 20', som illustrert på fig. 1A. Skjønt det er foretrukket at sender/mottagerne 45 og 46 blir montert på et vektrør som er stabilisert, kan slike sender/mottagere 45, 46 selvfølgelig også monteres på et sylindrisk vektrør som ikke har stabiliseringsfinner.

Elektronikkretser og mikroprosessorer, minner osv. som brukes til å styre sender/mottagerne 45, 46, og mottar data fra dem og å behandle og lagre slike data, er montert på en hylse 21 som er festet inne i vektrøret 20 eller 20'. En slik hylse har en bane 40' ved hvilken boreslam kan passere gjennom det indre av borestrengen 6 til det indre av kronen 30.

Verktøyene (vektrørene) 20 og 20', omfattende sender/-mottagerne 45 og 46 og de elektriske apparatene montert på hylsen 21, er spesielt innrettet til å måle borehulldiameteren og til å måle karakteristikkene til slammet som returnerer oppover i ringrommet 10 etter å ha passert gjennom kronen 30. Slik slam har vanligvis oppfanget borkaks, stenbiter o.l., og kan ha gassbobler 19 som kommer inn i ringromslammet fra jordformasjonen. Det er det faktum

at det forekommer slik gassinnstrømning eller tilbakeslag, samt det tidspunkt når det hender mens borehullet blir boret, som er viktig for boreren. Som forklart nedenfor, kan apparatet og fremgangsmåten ifølge denne oppfinnelsen måle karakteristikkene til det returnerende slam, såsom sonisk impedans og sonisk dempning, for å bestemme om og når en gassinnstrømning har funnet sted.

Fig. 1, 1A og 2A illustrerer skjematisk de ultrasoniske sender/mottagere 45, 46 ifølge oppfinnelsen. Slike sender/-mottagere er festet i vektørøret 20 eller 20' for å renne mot ringrommet 10 i borehullet 9. Fig. 2A viser at sender/-mottageren er anbragt i en stålkopp 51 som er festet inne i et hulrom i den sylindriske vegg 23 i vektørøret 20' eller stabilisatorfinnen 27 på vektørøret 20. Alternativt kunne sender/mottagerne installeres direkte i et hulrom i vektørøret 20.

Sensoren i sender/mottageren 45 er en piezoelektrisk skive 54 som fortrinnsvis er en flat, sirkelrund skive av keramisk materiale. Skiven 54 er montert mellom ett (eller flere) impedanstilpassede lag 56 og et passende absorberende eller bakningselement 58. Det tilpassede laget 56 er fremstilt av et lavt tetthetsmateriale såsom magnesium eller hard plast. Bakningselementet 58 omfatter korn med høy impedans (typisk kuler av wolfram eller bly) støpt inn i et materiale med lav impedans (såsom epoksy eller gummi).

Disse tre elementene, keramikkskiven 54, det tilpassede lag 56 og bakningselementet 58 vil heretter bli kalt sensorstabelen. De virker sammen til å generere eller emittere en ultrasonisk puls utover mot borehullveggen 9 gjennom bore-slammet i ringrommet 10, og til å motta soniske ekkopulser som blir reflektert tilbake til keramikkskiven eller sensoren 54.

Sensorstabelen er innkapslet i en gummikappe 60 som isolerer sensorstabelen mot borefluidum under høyt trykk i ringrommet 10. Slik fluidumisolasjon unngår elektrisk kortslutning og korrosjon i sensorstabelens elementer, og gir elektrisk isolasjon av elektrodene, ledningene og

forbindelsene til sensorskiven 54.

Rommet 62 mellom kappen 60, bakkingsmaterialet 58 og koppen 51 er fylt med et deformerbart materiale såsom gummi. Denne gummifyllingen samt gummikappen 60 virker sammen til å omgi sensorstabelen med gummi for å dempe støt som overføres til vektrøret 20 fra boreprosessen, og delvis til å absorbere høye sjokk-krefter på sensorstabelen som blir skapt under en typisk boreoperasjon nede i borehullet. Gummien i rommet 62 virker også til å tillate sensorstabelen å bevege seg eller å deformeres under trykk eller på grunn av varmeutvidelse.

Elektriske ledninger 64 er forbundet mellom de ytre og indre overflater på sensoren 54 og kontaktene 66 i elektronikkmodulen 22. Slike ledninger 64 går gjennom gummien 62 og gjennom koppen 51, som skal forklares i mer detalj nedenfor.

Ytterligere støyfiltrering er fortrinnsvis anordnet ved en ring 68 av lavimpedans materiale, plassert rundt gummikappen 60 i longitudinal innretning med sensorskiven 54. Ringen 68, som er laget av et materiale såsom epoksy, gummi, plast o.l. (eller til og med grease eller slam) reduserer nivået av høyfrekvent støy som overføres gjennom vektrøret 20 og som når frem til skiven 54. Ringen 68 reflekterer støy som overføres gjennom borestrengen og vektrøret, og som kunne nå keramikkskiven 54. Det virker som en mekanisk høyfrekvens støyisolator eller filter for å øke signal/støy-ytelsen til sender/mottageren 45. Et høyt signal/støy-forhold er viktig under en boretilstand hvor boreslam som strømmer med stor hastighet gjennom banen 40' i vektrøret 20 kunne generere støy i det frekvensområdet som sender/mottageren måler.

En forsinkelseslinje 70 er plassert utad fra sensorskiven 54. En slik forsinkelseslinje 70 gir mekanisk beskyttelse for sensorstabelen såvel som å spille en viktig rolle i måling av borefluidets soniske impedans. Måling av borefluidets soniske impedans gir et middel for deteksjon av gassinnstrømning. Forsinkelseslinjen 70 letter også

deteksjon ved korte avstander i borehullet, som forklart nedenfor.

Forsinkelseslinjen 70 er fremstilt av et materiale med lav sonisk impedans, såsom plast, epoksy eller gummi. Den fordeler anslagskreftene på sin ytre overflate over et forholdsvis stort område, innover mot det tilpassede laget 56. Forsinkelseslinjen 70, gummikappen 60 og det tilpassede laget 56 virker sammen til å gi en bred fordeling av slike anslagskrefter mot keramikkskiven 54, som er fremstilt av et skjørt materiale. Videre er forsinkelseslinjen 70 montert i forhold til koppen 51 slik at den isolerer sensorstabelen fra ytterligere dreiemoment forårsaket ved at den ytre overflate på forsinkelseslinjen 70 og vektrøret 20 skubber mot borehullet når borestrengen dreier seg i borehullet 9. Forsinkelseslinjen beskytter også gummikappen 60 mot skade på grunn av støting eller skraping av verktøyet 20 mot veggen i borehullet 9.

Forsinkelseslinjen 70 er fjærmontert inne i koppen 51 ved fjærer 72 som opprettholder kontakten mellom forsinkelseslinjen 70 og gummikappen 60 selvom sensorstabelen beveger seg utover eller innover på grunn av utvidelse eller sammentrekning med temperatur- og trykkvariasjoner.

I sum, fig. 2A illustrerer at keramikksensoren 54 er beskyttet både akustisk og konstruksjonsmessig. Konstruksjonsmessig beskyttelse av sensorskiven 54 er anordnet ved sjokkmonteringen: longitudinalt ved stålkoppen 51 og den stramt tilpassede gummikappen 60; innover ved den myke gummifyllingen 62; og utover ved forsinkelseslinjen 70 og dens fjærmontering 72 i forhold til koppen 51. Slik fjærmontering tillater utvidelse og kompresjon av bakkingselementet 58 under trykk- og temperaturendringer, mot den utadvendte overflate av sender/mottageren 45. Gummihylsen 60 tjener til å isolere sensorstabelen mot fluidum under trykk, og til å tillate dens ytre overflate å bevege seg innover og utover, mens den opprettholder kontakt med forsinkelseslinjen 70.

Fig. 2B illustrerer en foretrukket konstruksjon av sender/mottageren sensorenhet 45 ifølge oppfinnelsen. Sensorstabelen, omfattende keramikkskiven 54, det tilpassede lag 56 og bakkingselementet 58, er montert inne i metallkoppen 51.

Keramikkskiven 54 er fremstilt av et materiale som er karakterisert ved lav sonisk impedans og høy innvendig demping. Bly metamobat keramikk som er polarisert over hele overflaten er å foretrekke. Når en elektrisk spenning påtrykkes dens ytre og indre flate overflater, vil keramikkskivens tykkelse forandres litt. Når den påtrykte spenning fjernes, vil keramikkskiven gå tilbake til sin opprinnelige tykkelse. Hvis keramikkskiven har en oscillerende spenning over et visst tidsrom, her kalt en puls, vil keramikkskiven oscillere. En akustisk puls blir emittert fra skiven på grunn av at skivens oscillerende tykkelse endrer seg som følge av den oscillerende spenning.

Når det ikke er noen spenning påtrykt skiven, tjener den som en mottager. Når en akustisk bølge eller oscillerende puls blir påtrykt skivens overflate, blir det generert et elektrisk oscillerende signal mellom skivens to overflater.

I en pulsekkesensor eller sender/mottager, dvs. keramikkskiven 54 i sender/mottageren 45 ifølge denne oppfinnelsen, blir den samme keramiske skiven brukt til å emittere en akustisk puls og til å motta et ekko av den emitterte puls og å produsere et elektrisk signal som følge av dette.

Oscillasjonene i keramikkskiven 54 under emitteringsfasen blir fortrinnsvis dempet før skiven brukes til å motta et returekko av den akustiske bølgen. Slik demping må være effektiv på grunn av at de returnerende ekkopulser har forholdsvis liten amplitude. Ringestøy i sensoren etter emitteringsfasen, må m.a.o. holdes til et minimum.

Fallkontroll av emitteringsoscillasjonen er en primær funksjon for bakkingselementet 58. Det må være i kontakt med keramikkskiven 54 som vist på fig. 2B. Bakkingselemen-

tet 58 trekker den akustiske energi ut av keramikkskiven 54 etter at en puls av emitteringsspenning er påtrykt skiven. Bakkingsselementet 58 absorberer og dissiperer slik energi, slik at den ikke vil gå tilbake til keramikkskiven 54 og generere et støysignal etter at emitteringsfasen er over.

Bakkingsselementet 58 har fortrinnsvis en sonisk impedans som er tilnærmet den samme som materialet i keramikkskiven 54. Følgelig blir lite akustisk energi reflektert tilbake mot keramikkskiven 54 når den møter grensesnittet mellom keramikkskiven 54 og bakkingsselementet 58. På den annen side må bakkingsselementet 58 ha høy sonisk dempning slik at energien inn i bakkingen blir raskt dempet når den beveger seg bakover inn i bakkingsselementet og reflekteres fra dets ytterkanter. Det er viktig at bakkingsselementet er fremstilt av et materiale som opprettholder sine egenskaper med høy akustisk dempning og keramisk tilpasningsimpedans under forhold med høyt trykk og høy temperatur.

Det foretrukne råmaterialet på bakkingsselementet 58 omfatter uvulkanisert gummi, gummi blandingskjemikalier og vulkaniseringsmidler, samt wolframpulver. En valsemølle brukes til å blande kjemikaliene og vulkaniseringsagensene inn i gummimaterialet, og for den senere blanding av wolframpulver inn i blandingen. Når wolframpulveret og gummien er grundig blandet, blir det resulterende materialet fjernet fra møllen og kompresjonsstøpt i en oppvarmet platepresse for å forme og vulkanisere det ferdige kompositt.

De foretrukne gummimaterialene er syntetiske isobutylene-isopren elastomerer. Wolframpulveret må være finkornet. Blandingskjemikaliene og vulkaniseringsagensene omfatter små mengder av ZnO-pulver, stearinsyre og resin SP. Elastomerene, wolframpulveret, blandingskjemikaliene og vulkaniseringsagensene kan velges i passende proporsjoner og kornstørrelse, og blandes og behandles i henhold til kjente teknikker av pulvermetallurgi, for å danne et bakkings-element med de egenskaper som er beskrevet ovenfor.

Tilpasningslaget 56 er fortrinnsvis fremstilt av et tynt lag 30% karbonfylt PEEK. PEEK er et hardt plastmateriale med det kjemiske navn polyetereterketon. Den optimale impedans av tilpasningslaget 56 velges slik at den er i det vesentlige lik kvadratroten av impedansen til keramikkskiven 54 multiplisert med impedansen til gummilaget 60.

Ny PEEK hardplast er foretrukket som materiale for forsinkelseslinjen 70. Epoksy eller fenolplast kan være erstatningsmaterialer for forsinkelseslinjen 70. Den soniske impedans for PEEK gir ypperlig sonisk kobling med tungt boreslam. Dens soniske dempning er lav, og den gode mekaniske og kjemiske egenskaper for bruk nede i borehullet.

En konkav utadvendt fordypning 71 i den ytre overflate på forsinkelseslinjen 70 er fortrinnsvis anordnet i sender/mottageren 45. En slik fordypning 71 gir litt fokusering av den soniske energi som emitteres og mottas via forsinkelseslinjen 70. Slik fokusering forbedrer refleksjonen av borehullekko hvor man møter rynkede vegger.

En slik fordypning 71 gir også en adskillelse mellom den ytre overflate på sender/mottageren 45 og borehullveggen når vektrøret 20 ikke er adskilt fra borehullveggen. Med en slik "nullavstand" tilstand, kan returekkoer fra den ytre overflate på forsinkelseslinjen 70 adskilles fra nullavstands formasjon- (borehullvegg)ekkoer.

Dybden til fordypningen 71 i den ytre overflate på forsinkelseslinjen 70 er fortrinnsvis liten for å unngå muligheten for at slamkake av borkaks, klebrig leire og slampartikler samler seg der. For stor konsentrasjon av slamkake i banen til den soniske pulsen gir for stor dempning av et borehullekko.

En isolasjonsskappe 59 isolerer sensorstabelementene 58, 54 og 56 mot vanninntrengning via stålkoppen 51. Isolasjonsskappen 59 omfatter en stålhylse indre del 61 og en gummi-skappe ytre del 60. Den ytre del 60, fortrinnsvis av viton type gummi, er støpt på stålhylsen 61. Et spor 80 i den indre stålhylsen 61 har en O-ring 81 plassert der, som

isolerer mot borehullfluidum via koppen 51 til sensorstabelen.

Fluidumisolasjon er også anordnet ved hjelp av vitonkappen på den ytre del 60, men borefluidumtrykket blir tilført kappen 60 som skiller sensorstabelen fra boreslammet. Skjønt den er isolert mot fluidum, er således stabelen under samme trykk som boreslammet.

Et elektrisk gjennomføringselement 84 er anordnet i et indre hull 86 i koppen 51. En flens 88 for gjennomførings-elementet 84 er anbragt mellom en skulder 90 på koppen 51 og en nedre ringformet ende 92 av stålhylsen i den indre del 61 av isolasjonsskappen. Sporet 94 i gjennomføringselementet 84 har en O-ring 96 plassert i det for å gi ekstra fluidum isolasjon for elektronikkmodulene 22 fra innsiden av koppen 51. Elektriske pinner 64 går fra en indre stilling i koppen 51 gjennom gjennomføringen 84, og ender ved føtter 98.

En tynn aluminiumsplate 104 er festet i kontakt med den ytre overflate på keramikkskiven 54 ved hjelp av et epoksylin. En strimmel av aluminium 106 strekker seg fra flaten 104, innover til et kontaktpunkt 108 innenfor den avkortede kjegleformede overflate av bakkingselementet 58. En ledning 112 er festet mellom en av føttene 98 på de elektriske pinnene 64 og kontaktpunktet 108. En ledning 110 er festet mellom den andre av føttene 98 på de elektriske pinnene 64 og en messingplate 114 som dekker nesten hele den koniske overflate på bakkingselementet 58.

Messingelektroden 114 omfatter flere folder og bretter (ikke illustrert) for å tillate varmeutvidelse av bakkingen. Den er festet til bakkingselementet 58 ved hjelp av et epoksylin. Slikt lim er ikke-ledende, men gir tilstrekkelig kontakt til at det blir elektrisk kontakt mellom messingplaten og wolframkornene i bakkingsmaterialet til å etablere elektrisk ledeevne mellom ledningen 110, messingplateelektroden 114, bakkingsmaterialet 58 og den indre overflaten på keramikkskiven 54.

Tilkobling til bakkingselementet 58 ved hjelp av plateelektroden 114 er fordelaktig fordi man unngår å anordne en

tynn elektrode mellom den indre overflate på keramikkskiven 54 og bakkingselementet 58, hvilket kunne redusere bakkingens dempningsfunksjon. Ledningen 110 er ikke utsatt for ekstrem termisk utvidelse på grunn av at den er tilkoblet nær den indre ende på den koniske del av bakkingselementet 58.

Rommet mellom det indre av isolasjonsskappen 59, bakkingselementet 58 og gjennomføringselementet 84 er fylt utover med RTV silikongummi 100 og innover med epoksy 102. RTV gummien 100 tillater ledningen 112, som går fra en fot 98 på pinnene 64 til kontakten 108 av aluminium 106, og beveger seg utover eller innover med bevegelse av sensorstabelen 58, 54, 56. Ledningen 112 går i en sløyfe inne i gummien 100 som tillater den å bevege seg radielt med radiell bevegelse av sensorstabelen. For å begrense større termisk utvidelse er imidlertid volum av RTV gummi 100 fyllingsmateriale begrenset på grunn av den store termiske utvidelse av RTV gummi ved høye temperaturer. Følgelig er det indre rom fylt med epoksy 102.

Fylling av dette indre rom 102 med epoksy er fordelaktig fordi den termiske utvidelse av epoksy er mindre enn av RTV gummi. Epoksy 102 tjener også til å sentralisere og feste enden på den koniske seksjon av bakkingselementet 58 og å hindre at keramikkskiven 54 blir forskjøvet innover i koppen 51 med flere varme- eller trykksykler. Slik epoksy 102 tjener også til å stenge innsiden av sensorstabelen via rommet fra innsiden av sender/mottageren 45.

Et tynt rør 116 av nitrilgummi er plassert rundt de sylindriske sider av gummikappens ytre del 60. Dette rør gir en glideoverflate med kontakt for gummikappens ytre del 60 når gummikappen beveger seg utover eller innover med endringer i temperaturen. Røret 116 begrenser også innadgående bevegelse av forsinkelseslinjen 70 hvis en sjokk-kraft blir påtrykt den ytre overflate på forsinkelseslinjen 70. Følgelig gir røret 116 begrenset sjokkabsorberende beskyttelse av keramikkskiven 54 når sender/mottageren 45 er i tjeneste under boring av et

borehull.

En ring 118 er plassert rundt kappen 60 og røret 116 i nærheten av keramikkskiven 54. Den er konstruert av et materiale med lav sonisk impedans for å forbedre akustiske refleksjoner og således isolasjonen av skiven 54 mot støy, fra boring og pumping eller høyhastighets fludiumstrøm, overført gjennom borerøret 6, vektrøret 20 og kronen 30. Hull 120 i fylleringen 118 gir et rom for å utløse trykk i ringrommet mellom røret 116 og koppen 51.

Bølgefjærer 72 virker mellom flenser 122 på forsinkelseslinjen 70 og en skulder 123 på vindusmutteren 125 for å tvinge forsinkelseslinjen 70 innover mot den ytre ringformede kant på røret 116 og den ytre overflate på kappen 62. Vindusmutteren 125 er festet inne i koppen 51 ved gjenger 126. Fjærene 72 tjener således ikke bare til å tvinge vinduet 70 mot kappen 62, tilpasningslageret 56 og keramikkskiven 54, men tjener også til å beskytte keramikkskiven 54 mot sjokkanslag mot den ytre overflate på forsinkelseslinjen 70. Slike sjokkanslag blir også delvis absorbert av røret 116, kappen 62, bakkingselement 58 og RTV gummi fyllmaterialet 100.

Pinner 124 som er plassert i tilsvarende hull i koppen 51 og forsinkelseslinjen 70 hindrer rotasjon av forsinkelseslinjen 70 i forhold til sensorstabelen. Følgelig blir ikke friksjonskrefter mot forsinkelseslinjen 70 fra kontakt med borehullveggen 9 under rotasjon av verktøyet overført til sensorstabelen.

Koppen 51 omfatter to hull 128, 130 som er perpendikulære med aksen til sensoren 45. Når en pinne f.eks. settes inn i hullet 128, blir vindusmutteren 125 låst i rotasjon. Når en pinne settes inn i hullet 130, blir koppen 51 låst i rotasjon, hvilket tillater fjerning av vindusmutteren 125 om nødvendig. O-ringsporene 132, 134 i hvilke O-ringene er plassert når koppen 51 er plassert i et hulrom i vektrøret 20, gir isolasjon for det indre av vektrøret 20 mot boreslam i ringrommet 10.

For å forbedre nøyaktigheten ved måling av kaliber

eller borehulldiameter, og for å utvide området av hullstørrelse som kan detekteres med sender/mottageren 45 ifølge oppfinnelsen, skal sender/mottageren 45 på fig. 2A og 2B fortrinnsvis monteres nær eller på stabilisatorbladene 27 på vektørret 20, som illustrert på fig. 1 og 1A. Nøyaktigheten av ultrasoniske målinger blir forbedret av mange grunner.

For det første, hvor sender/mottageren er montert på en stabilisatorpinne, er det mindre slam som den emitterte puls må bevege seg gjennom fra sensoren til borehullveggen og tilbake. For det annet er det mindre eksentrisitet eller skråstilling av verktøyet 20 i borehullet 9 i nærheten av stabilisatorbladene, slik at avstanden s som blir målt av de to diametralt motstående sender/mottagere resulterer i et bedre mål for borehullets diameter. Ideelt bør borehullets diameter måles perpendikulært med borehullveggen.

For det tredje, med en kortere avstand mellom sensoren og borehullveggen, er det mindre spredning av den soniske strålen, hvilket resulterer i større signalrefleksjon tilbake til sender/mottageren fra borehullveggen. For det fjerde, med kortere avstander, spesielt hvor sender/mottagerne 45, 46 er montert på stabilisatorbladene, kan man bruke høyere soniske frekvenser, og derved forbedre deteksjonsnøyaktigheten av det første borehullekko. Tilslutt, men ikke mindre viktig, bør målingen av borehullets diameter utføres med verktøyet sentrert i borehullet, slik at man måler borehullets virkelige diameter og ikke en kårde av borehullet. Anordning av sender/mottageren på en stabilisatorpinne på et vektør eller på et vektør med stabilisatorpinner, sentrerer vektørret i borehullet, og følgelig blir avstandsmålingene med sender/mottageren og tilhørende elektronikk mer nøyaktig.

Elektronikkmodulen 22 i vektørret 20 er illustrert på fig. 3A. Denne modulen er tilkoblet kontaktene 66 som er forbundet med sensorer 45 og 46 som er montert på vektørret 20 som diskutert ovenfor. Et batteri 150 i borehullet er fortrinnsvis anordnet i modulen 22 som en likestrømskilde.

Andre elektriske kraftkilder er selvfølgelig kjent i teknikken for konstruksjon av borehullverktøy. Høyspenningsforsyningsenheten 152 forhøyer likespenningen til effektpulser 154 som genererer en høyfrekvens oscillasjon med en foretrukken frekvens på omkring 670 KHz. Datamaskinen 160 og pulskretsen 154 retter korte støt av disse høyfrekvente spenningsoscillasjonene, først til ledningene 156 for påtrykking på sensoren 45, og etter en mottagertid for sensoren 45 er gått, blir pulsene rettet mot ledningene 158 for påtrykking på sensoren 46. Det er klart at man kan bruke en sensor eller mer enn 2, men to diametralt motstående sensorer er foretrukket for de målinger som er beskrevet nedenfor.

De mottatte spenningspulser eller returekkoer, blir følt på ledningen 64 på sensorene 45 og 46 etter hvert støt av soniske pulser. Slike spenninger blir påtrykt via ledningsparene 162, 164 til en multiplekserkrets 166. Multiplekserkretsen 166, under styring av datamaskinen 160, sender ekkospenninger, først til et høypassfilter 168 hvor lave frekvenser i spenningspulsene blir fjernet.

En forsterkerkrets 170 med variabel forsterkning forsterker retursignalene, som så blir filtrert, likerettet og lavpassfiltrert av kretsene 172, 174 og 176. Forsterkningen i forsterkeren 170 blir øket når datamaskinen 160 detekterer lave amplituder i returekkoene. Utgangen fra lavpassfilteret 176 er en envelop av høyfrekvente ekkospenninger generert av sensorene 45 og 46 i sekvens. I den foretrukne utførelse av apparatet ifølge oppfinnelsen, blir digitalisering av envelopsignalene på ledningen 177 oppnådd ved en signalbehandling og sensor-avfyringsprotokoll for datamaskinen 200. Envelopsignalene på ledningen 177 blir digitalisert på denne måten, isteden for med en konvensjonell analog/digital-omformerkrets, for å spare elektrisk kraft ved målinger i borehullet under lange perioder med boring.

Digitaliserings-programvare og avfyringsmønster gir digitalisering av envelopsignalet på ledningen 177 ved

avfyring av en gitt sensor (dvs. sensor 45 eller 46) N ganger, hvor N fortrinnsvis er mellom 5 og 15. Hver avfyring blir utført med en lavere terskel (eller høyere forsterkning). For hver forsterkning/terskel-kombinasjon, blir riktig forsinkelse innstilt for å unngå støydeteksjon.

Fig. 3B illustrerer et avfyrings/ekko-mønster som blir gjentatt åtte ganger. Åtte tellere er anordnet, hver forbundet med en av de åtte terskelnivåer. Hver teller registrerer tiden for kryssing av dens terskel. Når en innstilt tid er nådd (f.eks. 200 mikrosekunder), vil prosessoren registrere antallet terskelkryssinger for envelopsignalet på ledningen 177 forbundet med hver teller. På fig. 3B representerer prikkene på signalenvelopen posisjonen for signaldeteksjon. Utformingen av ekkoamplituden på kryssing C13 er mellom tersklene 1 og 2. Dens toppamplitude er ved tidspunktet forbundet med kryssingen C13. Man kan se at envelopsignalet på ledningen 177 blir digitalisert ved teknikken med flere avfyringer og flere terskelverdier og med programvare med flere tellere i henhold til den fremgangsmåten som er beskrevet ovenfor.

Etter digitalisering blir slike envelopsignaler i ekko-signalene behandlet i datamaskinen 160 i henhold i fremgangsmåten som er diskutert nedenfor.

Signaler som representerer behandlingen av envelopene for retursignalene blir lagret i modulminnet 180, eller blir overført til MWD-verktøyet 29 for overføring til overflate-instrumentene 7 for videre behandling.

Måling av avstand og borehulldiameter er illustrert skjematisk på fig. 4 og 5, og sender/mottageren 45 omfatter bakkingselement 58, keramikkskive 54 og forsinkelseslinje 70. En spenningspuls V av høyfrekvent oscillasjon blir påtrykt keramikkskiven 54 som reagerer ved å emitte høyfrekvente akustiske pulser, vist som pilen 1, inn i forsinkelseslinjen 70. Returekkoer blir følt av keramikkskiven 54, og en spenning som representerer den blir påtrykt ledningene 64. Bare en tidskontrollsyklus for sender/mottageren er vist i illustrasjonen.

Når den soniske puls 1 når grensesnittet mellom forsinkelseslinjen 70 og borefluidet i ringrommet 10, blir en del av den soniske puls overført gjennom grensesnittet og inn i ringrommet som vist ved pilen 5. En del av den soniske puls blir reflektert tilbake mot keramikkskiven 54 som vist ved pilen 2. Amplituden til det reflekterte signal 2 avhenger av forskjellen mellom den soniske impedans i borefluidet og den soniske impedans i forsinkelseslinjen 70.

Den reflekterte soniske puls eller "ekko" 2 treffer keramikkskiven 54 og eksiterer den. Slik mekanisk eksitering genererer et elektrisk signal som representerer amplituden og tidsforsinkelsen for det soniske ekko. Signalet blir forsterket av elektronikkmodulen 22 og overført til datamaskinen 160 i borehullet, som beskrevet ovenfor. Et første forsinkelseslinjeecko blir detektert som pulsen 2 på fig. 5, og skjer på et tidspunkt T1 etter den emitterte soniske puls som vist som puls 1.

Lydbølger i forsinkelseslinjen 70 spretter frem og tilbake mellom keramikkskiven 54 og borefluidet i ringrommet 10. Ved hver refleksjon blir amplituden til lydbølgepulsens redusert på grunn av at en del av energien blir overført gjennom grensesnittet, og er tapt som energi i en reflektert puls. Slike ekkoer som spretter frem og tilbake er vist som bølge 3 og 4 på fig. 4. Et sonisk pulsekko 4 blir detektert ved forsterkeren 170 og datamaskinen 160 ved tidspunkt 2T1.

En del av pulsen 1 blir overført inn i borefluidet i ringrommet 10 som vist ved pilen 5. Pulsen 5 blir reflektert fra grensesnittet for formasjon 9, og et akustisk pulsekko 6 beveger seg mot forsinkelseslinjen 70. En del av energien i ekkopulsen 5 blir overført inn i formasjonen. Ekkopulssignalet 6 når forsinkelseslinjen 70 hvor en del av dets energi blir overført til forsinkelseslinjen som en puls 7. Denne pulsen beveger seg gjennom forsinkelseslinjen 70 og eksiterer keramikkskiven 54. Slik eksitering blir detektert som utgangssignal 7 fra forsterkeren 170 eller datamaskinen 160 ved tidspunkt T2 på fig. 5.

Flere ekkoer kan detekteres, spesielt i lett borefluidum hvor den soniske dempning er liten. Et eksempel på flere ekkoer er vist av den soniske puls som vist ved pilene 8 og 9. Fig. 5 illustrerer fler-ekkodeteksjon av forsinkelseslinjeekkoene av pulsene 2 og 4, og for borehullekko av pulsene 7 og 9.

Som illustrert på fig. 1 kan gassbobler 19 komme inn i borefluidet i ringrommet 10 fra formasjonslag som kronen borer gjennom. Slike bobler strømmer oppover forbi, og passerer foran, sender/mottagerne 45 og 46. Sonisk dempning og impedans i borefluidet blir endret av gassen. Signalbehandlingen i elektronikkmodulen 22 på fig. 3A detekterer slike endringer i borefluidets karakteristikk.

Fig. 6A, 6B til 9A og 9B illustrerer flere kategorier av returekkemonsteret som er resultatet av målingsapparatets utforming, borehullets geometri, borkaks og gassbobler i boreslammet. Fig. 6A, 6B, 7A og 7B illustrerer henholdsvis tilstander med rent slam, borkaks i slam, en liten mengde gass i slammet, og en større gass i slammet. Fig. 6B, 7B, 8B, 9B illustrerer de typer av ekkosignaler som kan forventes fra tilstandene på fig. 6A, 7A, 8A, 9A. "B"-diagrammene på figurene representerer en envelop for utgangsspenninger fra forsterkeren 170 etter likeretting av returpulsene ved likeretteren 174 på fig. 3A. Slike B-diagrammer er plotter av spenningsamplitude mot tid. Tidsreferansen er fra eksiteringspulsen 1 som er vist som metning av forsterkeren 170. Slike eksiteringspulser 1 blir maskert i digitaliseringsfremgangsmåten som beskrevet ovenfor i forbindelse med fig. 3B.

Etter avfiring av eksiteringspulsen representert som puls 1, blir et ekko fra det fremre grensesnitt mellom forsinkelseslinjen 70 og boreslammet i ringrommet 10 returnert til keramikkskiven 54 som puls 2. På et senere tidspunkt blir formasjonsekket returnert til keramikkskiven 54 som indikert med puls 3. Eksiteringsspenningen som påtrykkes keramikkskiven 54 blir opprettholdt på et konstant nivå. Følgelig blir ekkoamplitudene et resultat av

emitterte pulser med konstant amplitude.

Amplituden til forsinkelseslinje-ekkoet 2 avhenger sekundært av dempningen i det tilpassede lag 56 og gummilaget 60 (på fig. 2A, 2B, men ikke illustrert på fig. 4) og forsinkelseslinjen 70. Det er typisk at dempningen i det tilpassede laget varierer litt med temperaturen. Men amplituden til forsinkelseslinjeekkoet 2 avhenger primært av koblingen med borefluidet, fordi refleksjonsfaktoren ved forsinkelseslinjen/borefluidum-grensesnittet har sammenheng med den soniske impedans i et fluidum. Med andre ord,

$$R_{DL} = \frac{Z_{MUD} - Z_{DL}}{Z_{MUD} + Z_{DL}}$$

hvor R_{DL} er refleksjonsfaktoren, Z_{MUD} er sonisk impedans i borefluidet, og Z_{DL} er sonisk impedans i forsinkelseslinjen.

Borehullekkoets amplitude (dvs. ekkoet fra formasjonsveggen i borehullet) avhenger av flere parametere. En slik parameter er sonisk dempning i borefluidet. Sonisk dempning i borefluidet øker tilnærmert lineært med slamtettheten for en gitt frekvens. På grunn av denne effekten kan formasjons-ekkopulsen 3 på fig. 6B variere med en faktor på 100, med varierende avstand og slamdempning.

En annen slik parameter er reflektiviteten R_f for formasjonsveggen. Slik vegg-reflektivitet avhenger av formasjonens soniske impedans Z_f og formasjonens rynkethet. Variasjon i borehullveggenes reflektivitet kan påvirke amplituden til borehull-ekkopulsene med en faktor på 10.

En annen parameter som påvirker amplituden til borehull-ekkopulsen er graden av parallellitet mellom sensoroverflaten og borehullveggen. Amplituden kan variere med en faktor på 10 på grunn av en slik parallellitetsfaktor. Når andre faktorer er like, vil med andre ord det sterkeste borehullsignal oppstå når sender/mottageren er perpendikulær med borehullveggen.

Andre faktorer som påvirker amplituden til

borehullekkoet omfatter forsinkelseslinjens soniske dempning og koblingen mellom borefluidet og forsinkelseslinjen. Slik kobling varierer med boreslammets tetthet (det er typisk at den forbedrer seg med økende tetthet) på grunn av at slammets soniske impedans avhenger av slammets tetthet. Hver av faktorene i forsinkelseslinjens dempning og koblingen mellom slammet og forsinkelseslinjen kan påvirke amplituden til borehullekkoet med en faktor på 2.

Fig. 7A viser en situasjon og virkninger av at borkaks er tilstede i borefluidet. Hver borkaks reflekterer en del av den emitterte soniske puls tilbake mot keramikkskiven 54. Følgelig vil hver borkaks generere et signal ved utgangen fra forsterkeren. Slike borkaksekkoe er vist som ekkoe 20, 22 på fig. 7B. Deres amplitude avhenger primært av borkaksens størrelse og slammets soniske dempning. I slam med lav sonisk dempning vil typisk borkaks ha signaler som er mindre enn eller lik borehullpuls 3. I slam med høy sonisk dempning blir borehullekkoet 3 dempet med et større forhold enn borekaksekkoe 20, 22 på grunn av at det alltid er en lengre avstand fra skiven 54. I et slikt tilfelle kan borehullekkoet 3 bli mindre enn borkaksekkoe 20, 22.

Fig. 8A viser situasjonen og virkningen av små mengder gass i slammet, som typisk er i form av små gassbobler 19. For en slik tilstand øker den soniske dempning i slammet. Som et resultat blir amplituden til borehullekkoet 3 redusert som illustrert på fig. 8B. Forsinkelseslinjens ekko 2 varierer litt, på grunn av at slamimpedansen avtar litt med en liten økning i gasskonsentrasjon. På grunn av at forsinkelseslinjens impedans normalt er høyere enn slamimpedansen, vil forsinkelseslinje-ekkoet 2 øke litt med en liten økning i gasskonsentrasjonen i slammet.

Fig. 9A viser et tilfelle med stor konsentrasjon av små gassbobler, på grunn av gassinnstrømning til boreslammet i ringrommet 10. Stor gasskonsentrasjon er typisk definert som gassandeler lik eller nær 1% av slamandelen. For en slik gasskonsentrasjon kan sonisk dempning i slammet nå 15 decibel pr. cm, slik at borehullets ekkosignal 3 blir

betydelig dempet. Slike små amplituder i borehullekkoet 3 kan gjøre deteksjonen vanskelig. Amplituden til forsinkelseslinjens ekkopuls 2 øker opp til 10% med gasskonsentrasjonen i slammet.

Fig. 9C og 9D er lik fig. 9A og 9B, men representerer et tilfelle med store gassbobler i ringrommet 10, som passerer sensoren 45 på sin vei opp til borehullets øvre overflate. Slike store bobler kan produsere et ekko som ved 4 på fig. 9D, som har den samme relative absolutte amplitude som forsinkelseslinje-ekkoet 2. Man har funnet at fasen til et ekko fra en stor boble er reversert eller 180° ut av fase fra fasen til andre ekkoer. Signalet 4 på fig. 9D er med andre ord en likerettet envelop av en høyfrekvent puls som er 180° ut av fase med andre ekkopulser. Fasedetektoren 173 detekterer slik faserskifting i oscillasjonssignalet for returekkoene, og sender et signal til datamaskinen 160 når en slik tilstand blir detektert.

Det faktum at det er 180° faseskift i en ekkopuls gir et middel for å identifisere store gassbobler; dvs. fasen til hvert ekko blir først bestemt. Hvis en slik fase er 180° fra fasen til forsinkelseslinjens ekko, representerer slike ekko en stor gassboble. For slike tilfeller blir et signal sendt til overflatens instrumenter under styring av datamaskinen 160 via MWD-sub 29, slik at en alarm kan genereres for å gjøre boreren oppmerksom på at store gassbobler er detektert nær bunnen av borehullet, på vei opp til overflaten.

Det lagrede program 200 i datamaskinen 160 har lagret en ekko-bestemmelseslogikk for å skjelne borehullekkoer og forsinkelseslinje-ekkoer fra borkaksekkkoer og andre uønskede ekkosignaler. En slik logikk er delvis basert på de følgende vurderinger.

Formasjonen eller borehullveggen er den fjerneste reflektor. Borkaks er alltid nærmere keramikkskiven 54 enn borehullveggen. Hvis man ikke tar hensyn til tilfellet med dobbelte ekkoer, vil borehullekkoet alltid være det siste ekkoet.

Under de fleste boreforhold vil borkaks alltid være tilstede i banen for den soniske strålen. Jo større borkaksen er, jo færre individuelle borkaksekkoer vil det være tilstede.

I et borefluidum med lav dempning, vil de fleste borkaks produsere et mindre ekko enn formasjonen.

I et borefluidum med høy dempning, er det mulig at borkaksekkosignalene kan være større enn formasjonens ekko-signaler hvis forskjellen i sonisk banelengde er forholdsvis stor.

Etter ankomst av et ekko til sensoren, blir sensorstøyen øket med støyen i dette ekko. Slik støy faller til sensorstøyens nivå.

Små borkaks (med mindre enn 1 mm diameter) skaper en økning i bakgrunnsstøy, men kan vanligvis ikke identifiseres individuelt.

Fig. 10, 11 og 12 illustrerer forskjellige forhold som prosesslogikken i program 200 tar i betraktning. De logiske flytdiagram på fig. 13 viser de logiske trinn i det lagrede program 200.

Fig. 10 illustrerer utgangen fra likeretteren 174 (fig. 3) som tilsvarende det tilfellet hvor flere distinkte ekkoer 24, 25, 26, 28 blir detektert før borehullekkoet 3. Den emitterte puls fra keramikkskiven 54 er representert som forsterkermettning 1, som er elektronisk maskert under digitalisering. Forsinkelseslinjens ekko er ekko 2.

Det logiske trinn 202 på fig. 13 identifiserer formasjons- og borkaksekkoer som oppstår etter forsinkelseslinjens ekko 2. Forsinkelseslinjens ekko 2 er det første ekko, hvor forsinkelseslinjen 70 har bare ett grensesnitt med borefluidet. Det lagrede program 200 lagrer amplituden og ankomsttiden for hver av ekkoene som oppstår etter forsinkelseslinjens ekko. F.eks., for ekkomønsteret på fig. 10, blir ekkoene 24, 25, 26, 28 og 3 lagret.

Logikkboksen 204 på fig. 13 illustrerer at støyekkoer blir avvist ved å kreve at hvert ekko som oppstår på et bestemt tidspunkt må være over et minimum signalnivå for det

tidspunktet. Dette kravet sikrer adskillelse av ekkoer fra sensorstøy. Akseptnivået avtar med tid etter eksitering, fordi sensorstøy faller raskt etter eksiteringen. Med andre ord, amplituden for hvert ekko blir sammenlignet med en forutbestemt funksjon $A_{\min}(T_N)$ hvor T_N er ekkoets forsinkelsestid etter eksiteringspulsen. Behandlingen vil fortrinnsvis anerkjenne et begrenset antall ekkoer (i området 2 til 12). De større ekkoene blir spart for videre behandling. Ved anvendelse av denne logikk til fig. 10, vil ekkoene 24, 25, 26, 28 og 3 bli akseptert.

Det neste logiske trinn, vist som logikkboks 206 på fig. 13, sikrer at hvert suksessivt ekko har en avtagende amplitude med tid. Amplituden for hvert suksessivt ekko må med andre ord være mindre enn amplituden for det foregående ekko. Hvis ikke blir det foregående ekko kassert fra listen over ekkoer. Denne behandling er basert på den logikk, at hvis et større ekko kommer etter et mindre ekko, tilsvarer det større ekko en større reflektor. En slik større reflektor er enten et stort stykke borkaks eller borehullveggen, men det mindre ekko som kommer først kan ikke være fra borehullveggen. På fig. 10 vil ekkoet 24 bli kassert, basert på kriteriene for logikkboksen 206 på fig. 13.

Hvert ekko må være adskilt i tid fra hvert annet ekko med en viss forutbestemt minimumstid for å unngå flere deteksjoner av samme ekko. På fig. 10 blir ekkoet 28 avvist i henhold til dette kriterium som en støyproduksjon av ekkoet 26. Logikkboksen 208 nevner kriteriene.

Forsinkelseslinje- og borehullekko-logikken ifølge oppfinnelsen definerer fra begynnelsen ekkoet 3 i illustrasjonen på fig. 10 som et "midlertidig formasjonsekko". Det er det siste ekko som blir detektert. Før den endelige bestemmelse at dette ekko virkelig er borehullekkoet, blir to ytterligere tester utført: for det første, ekkoet må ikke være et dobbelt ekko av ekkoet 26; og for det annet, ekkoet 3 må ikke være et støyekko generert av ekkoet 26.

Hvis ekkoet 3 ikke består en av disse to testene blir

det kassert, og ekkoet 26 (merk at ekkoet 28 allerede er kassert) blir midlertidig definert som "midlertidig formasjonsekko". De samme to aksepttestene blir igjen utført for dette midlertidige formasjonsekkoet og det umiddelbart forutgående ekko. Hvis disse testene er vellykket, blir ekkoet 26 akseptert. Hvis ikke fortsetter letingen. En endelig løsning vil alltid finnes fordi, som ovenfor, kan ikke det "midlertidige formasjonsekko" bli sammenlignet med et tidligere ekko hvis det kommer umiddelbart etter forsinkelseslinjens ekko.

Den foregående fremgangsmåte kan fremtvinge at et dobbelt formasjonsekko blir akseptert som formasjonsekko. For å ta vare på denne muligheten blir det utført en test på to suksessive ekkoer. Denne dobbeltekko aksepttest for det "midlertidige formasjonsekko" verifiserer at dette ekkos forsinkelsestid ikke er tilnærmet to ganger ankomsttiden for det foregående ekko. Som illustrert på fig. 11, blir ekkoet 30 først akseptert som "midlertidig formasjonsekko". Men dets ankomsttid er lik omkring to ganger ankomsttiden for ekko 3. Følgelig blir ekko 30 avvist, og ekko 3 blir det "midlertidige formasjonsekko". Fordi det ikke er noe tidligere ekko etter forsinkelseslinjen ekko, blir ekkoet 3 den endelige løsning som borehullets eller formasjons ekko. Denne logikk er illustrert som logikkboksene 210 og 212, hvor forsinkelsestiden for det midlertidige formasjonsekko blir sammenlignet med to ganger forsinkelsestiden for hvert foregående ekko.

Den siste test som et "midlertidig formasjonsekko" må bestå før endelig aksept er testen for tilleggsstøy på grunn av et tidligere ekko. Hvert ekko øker støyen i sensoren etter sin ankomst. Denne støyen faller av med tiden. Dette støynivået kan være over minimumsnivået for sin deteksjonstid. Dette minimumsnivået bestemmes for en "stille" situasjon. Følgelig må formasjonens ekko være minst over dette minimumsnivå, avhengig av sin forsinkelsestid, for tilfelle med en "stille sensor". Men i tilfelle med et tidligere ekko som allerede er detektert, må det være

over støyen som blir generert av et slikt ekko.

Den enkleste implementering er å sikre at amplituden til det "midlertidige formasjonssekko" er over et visst forhold til det tidligere ekkos amplitude. Et eksempel er vist på fig. 12. Ekkoet 32 representerer støy generert av ekkoet 3. Denne testen avviser ekkoet 32, og ekko 3 blir akseptert som "midlertidig formasjonsekko". Dette ekko 3 kan i sin tur bli sammenlignet med tidligere forekommende ekko hvis de er tilstede, for å bestemme hvilket ekko skal bli endelig akseptert som borehull- eller formasjonsekko. Logikktrinnet 214 på fig. 13 beskriver denne testen for å bestemme om et ekko er resultatet av indusert sensorstøy.

Amplituden til det endelige aksepterte formasjonsekko blir lagret sammen med sin forsinkelsestid fra den emitterte puls og sann tid for denne målingen. Et slikt trinn er illustrert i logikkboksen 216 på fig. 13.

Borehullets forsinkelsestid T_n , lagret i minnet 180 i henhold til prosessen på fig. 13, frembringer de data som er nødvendig for å bestemme avstand. Med avstand mener man avstanden mellom frontoverflaten og forsinkelseslinjen 70 og veggen i borehullet 9. En bestemmelse av avstanden og diameteren for borehullet ved dybdeposisjonen til sender/mottagerne 45, 46 i borestrengen i borehullet gir verdifull informasjon til en borer. Slike målinger kan lagres nede i borehullet i minnet 180 eller overføres til et MWD-verktøy 29 for overføring til overflateinstrumentene 7 (fig. 1). Begge fremgangsmåtene (lagring i borehullet og overføring til overflaten under boring) kan utføres samtidig. Verktøyet 20 virker som et konvensjonelt vektrør (idet det tilfører vekt til borekronen) selv om det samtidig utfører målingene som er beskrevet ovenfor og nedenfor.

Tidsforsinkelsen for borehullekkoet står i et direkte forhold til avstanden mellom sender/mottageren 45 eller 46 og borehullveggen. Med andre ord,

$$\text{avstand} = \frac{V_s \cdot T}{2}$$

hvor V_s =sonisk hastighet og T er den målte tidsforsinkelse korrigert for tidsforsinkelsen i forsinkelseslinjen.

En numerisk verdi for lyd hastigheten i den ovenstående formel for bestemmelse av avstanden finnes fortrinnsvis i en tabell for det gitte trykk og temperatur. Sonisk hastighet varierer ganske lite med trykk og temperatur i den sonen i borehullet som er av interesse.

Avstandsmåling med en sender/mottager muliggjør statistisk evaluering av hulldiameteren når verktøyet roterer (som normalt er tilfelle under boring). Under rotasjon sender sender/mottageren 45 soniske pulser gjennom slamåpningen mellom verktøyet og borehullveggen, som kan variere mens verktøyet roterer. De målte avstander blir kumulert for statistisk behandling, slik at den gjennomsnittlige hulldiameter kan beregnes etter flere omdreininger. Den beste målingstakt blir nådd når flere avstander kan evalueres hvert sekund. Siden den typiske rotasjonshastighet for en borestreng er mellom 50 og 200 RPM, vil en gjennomsnittlig oppsamlingstid fra 10 til 60 sekunder samle nok data for nøyaktig beregning av gjennomsnittet. Den gjennomsnittlig hulldiameter basert på bare en sender/mottager kan så beregnes:

$$\text{Hulldiameter} = \text{verktøydiameter} + 2 \text{ ganger gjennomsnittlig avstand.}$$

Tillegg av en annen sender/mottager 46 diametralt overfor sender/mottageren 45 forbedrer diametermålingen når verktøyets sentrum ikke er koaksialt med brønnhullet under boring. Sender/mottageren 45 blir først brukt til å måle avstanden på sin side. Umiddelbart deretter blir sender/mottageren 46 brukt til å måle avstanden på den andre siden av verktøyet. Øyeblikkelig avfiring av begge sender/mottagerne er ikke nødvendig, så lenge verktøyets bevegelse i tiden mellom begge målingene er liten.

Med det typiske området av rotasjonshastigheter for borestrengen, og på grunn av at bølgestrålens bredde dekker flere grader av brønnhullets omkrets (på grunn av sender/mottagerens diameter og sonisk divergens), kan tiden mellom

avstandsmålinger som utføres med begge sender/mottagerne være så lite som 50 millisekunder. Jo kortere tiden er, jo bedre er den endelige diameterberegning. Fordelen med ikke-samtidige målinger er reduksjon av størrelsen til elektronikkmodulen 21, på grunn av at samme systemet kan bli multiplekset for å styre forskjellige sender/mottagere. Elektronikkutstyret fysiske størrelse er ofte en viktig begrensning for MWD-type anordninger. Videre vil multipleksing og den mindre størrelse av elektronikkmodulen som kreves for ikke-samtidige målinger redusere forbruket av elektrisk energi, hvilket kan være kritisk når verktøyet opererer fra batteriet 150 på fig. 3.

En tilnærming til øyeblikksverdien av hullets diameter kan beregnes som:

Hulldiameter = avstand 1 + avstand 2 + verktøydiameter,

hvor

avstand 1 = avstanden som måles med sender/mottageren 45,

avstand 2 = avstanden som måles med sender/mottageren 46,

og

verktøydiameteren = avstanden fra overflaten på sender/-mottageren 45 til overflaten på sender/mottageren 46.

Denne øyeblikksverdien av diameteren blir lagret i en vektor. Etter oppsamlingstiden (som typisk kan være i området 10 til 60 sekunder), blir diameterdataene som er lagret i vektoren statistisk behandlet for å bestemme statistiske parametere såsom gjennomsnittlig diameter, den mest sannsynlige og/eller en tilnærming til den største diameter, eller forskjellige prosentverdier av et histogram. Slike parametere blir overført til overflaten (eller alternativt lagret i et lager nede i borehullet for senere bruk). Med statistisk behandling er bestemmelsen av hullets geometri mindre følsomt for falske målinger som kan oppstå under boring. Som forklart ovenfor blir disse falske målingene, forårsaket ved deteksjon av borkaksekko isteden for formasjonsekko, dårlig utforming av ekkot på grunn av rynker i formasjonen, feilinnretning av sensoren i forhold til veggen eller en støypuls på grunn av boreoperasjonene,

for største delen eliminert ved behandlingstrinnet på fig. 13, men det er uungåelig at noen falske målinger kan passere en slik logisk behandling.

Som illustrert på fig. 6 til 12, er forsinkelseslinjens ekko 2 lett å identifisere på grunn av at det oppstår en kort tid etter slutten på den emitterte soniske puls 1. Amplituden til slike forsinkelseslinje-ekko blir lagret som en funksjon av tid, på lignende måte som lagringen av borehullets ekkoparametere i logikkboksen 216 på fig. 13. Amplituden til slike forsinkelseslinje-ekkoer er karakteristisk for refleksjonsfaktoren for forsinkelseslinjen 70 og borefluidet i ringrommet 10. Som forklart ovenfor avhenger refleksjonsfaktoren av borefluidets soniske impedans, som i høy grad kan påvirkes av mengden av gass i borefluidet.

Når gass entrer borefluidet, avtar den soniske impedans på grunn av at gassen reduserer borefluidets soniske hastighet og tetthet. Som et resultat varierer den soniske kobling mellom sensorens forsinkelseslinje 70 og borefluidet i ringrommet 10 med refleksjonsfaktoren. I de fleste tilfeller er den soniske impedans for forsinkelseslinjen 70 mellom 2 og 3,5 Mrayl, avhengig av materialet og driftstemperaturen. Den er typisk høyere enn den soniske impedans i borefluidet, som er typisk mellom 1,5 og 3,5 Mrayl. Følgelig, i det vanlige tilfellet hvor forsinkelseslinjens impedans er omkring 3 Mrayl, vil ekkoet på frontoverflaten til forsinkelseslinjen 70 øke i amplitude med en økning i gasskonsentrasjonen, fordi forskjellen i sonisk impedans i fluidet og i forsinkelseslinjen øker.

Det bredeste konsept ved oppfinnelsen er å måle og overvåke forsinkelseslinjens ekkoamplitude som en funksjon av tid under boring. I normale boreoperasjoner vil forsinkelseslinjens ekkoamplitude drive langsomt med tiden på grunn av endringer i trykk og temperatur i borehullet. Sensorens ytelse og borefluidets akustiske egenskaper avhenger av disse tilstander nede i borehullet. Slik drift er liten på grunn av trykket og temperaturen i borehullet

endrer seg langsomt under boring.

Men gassinnstrømning skjer forholdsvis plutselig, og resulterer i et plutselig fall (noen få prosent på noen få minutter) i sonisk slamimpedans. En slik endring bevirker en rask endring i forsinkelseslinjens ekkoamplitude. Overvåking av endringshastigheten for denne amplituden frembringer en måte for å detektere gassinnstrømning nede i borehullet.

Tilleggsbehandling kan utformes for å forutsi mengden av gass i gassinnstrømningen. Denne tilleggsbehandling krever data som angår sensorens ytelse under tilstander og den løpende slamtetthet. Tilleggsbehandling kan utføres hvis impedansen i forsinkelseslinjen kan bli målt, slik at frontoverflatens ekkoamplitude kan omformes til slamimpedans. En slik forsinkelseslinje impedans kan måles hvis forsinkelseslinjen er konstruert med to lag, slik at et ekko fra grensesnittet mellom disse to lagene kan detekteres. Om man antar konstant tykkelse av det ytterste laget i kontakt med fluidet, kan den soniske hastighet beregnes for dette laget. Tettheten til det ytterste laget kan antas å være konstant, hvilket er en god tilnærming med hard plast eller hard gummi. Impedansen i dette laget kan så beregnes.

Fra flere detekterte borehullekkoer, kan slamdempningen bli beregnet ved de fremgangsmåter som er illustrert på fig. 14. En linje er tilpasset mellom den logaritmiske verdi av borehullekkoets amplitude mot den tilsvarende avstand. Steilheten av en slik linje er lik den soniske dempning i slammet.

Sålenge alle andre parametere som styrer amplituden til borehullkarakteristika såsom rynkning, impedans osv., forblir konstant over måletiden for borehullamplitudene, er steilheten til linjen som definert ovenfor og illustrert på fig. 14 uavhengig av verdien til slike parametere.

Blant de parametere som påvirker borehullets ekkoamplitude er sensorens ytelse, eksiteringsspenningen, dempningen i forsinkelseslinjen og det tilpassede lag, den soniske kobling mellom sensoren og slammet, og reflektivi-

teten i formasjonen. Alle slike parametere påvirker det punktet hvor den tilpassede linjen krysser Y-aksen. En korrelasjonsfaktor for dataene kan beregnes til å validere tilpasningen av linjen L og til å sørge for avvisning av en feilaktig beregning av slammets dempning.

En fremgangsmåte for deteksjon av gass er illustrert på fig. 15, hvor slammets dempning er plottet som en funksjon av tid. En slik fremgangsmåte kan utføres med verktøyets datamaskin 160, eller den kan utføres av overflate-datamaskiner i overflateinstrumentene 7 etter at amplitude-data og avstandsdata er sendt til overflaten. Når det ikke er gass i borefluidet, er den soniske dempning i slammet typisk i området 1:5 db/cm. Med en liten gassinnstrømning i området på 0,2% del av slammet, gjør den soniske dempning et dramatisk hopp til 8:15 db/cm eller mer ved sensorens grunnfrekvens. Følgelig blir en slik gassinnstrømning ved tidspunktet T_{INFLUX} detektert av slamdempningsplotten på fig. 15. Selv uten en referansemåling kan gassinnstrømning bestemmes av endringen. En referansemåling av slammets dempning (målt så nært som mulig til forholdene nede i borehullet) forbedrer oppløsningen av innstrømnings-deteksjon.

Økningen i slamimpedanskurven ved tidspunktet T_{INFLUX} bekrefter bestemmelsen av gassinnstrømning som illustrert ved fig. 15.

De parameterene som er identifisert ovenfor, såsom avstand, sonisk impedans og slamdempning kan bestemmes som en funksjon av boretid, og lagret i elektronikkmodulens minne 180. Disse dataene i minnet 180, såvel som andre data, kan overføres til overflateinstrumentene 7 via en MWD-verktøyet 29 ved bruk av borefluidet som en kommunikasjonsvei. Slike MWD-verktøy og fremgangsmåter er konvensjonelle i teknikken for MWD-kommunikasjon.

Når slamdempnings- og slamimpedans-signaler som mottas av overflateinstrumentene 7 samtidig øker med en forutbestemt mengde innen en forutbestemt boretidsperiode, kan en alarm generes som vist med en klokke 7A på fig. 1.

Fagfolk i den beskrevne teknikk kan tenke seg forskjellige modifikasjoner og endringer i fremgangsmåten og apparatet ifølge oppfinnelsen, uten å avvike fra oppfinnelsens ånd. Av denne grunn ønsker man å inkludere disse endringer i kravene. Kravene utgjør den eneste begrensning av oppfinnelsen. Beskrivelsesmetoden som er brukt skal tolkes som illustrerende og ikke begrensende.

P A T E N T K R A V

1. Borehull-måleapparat omfattende et verktøy som er innrettet for tilkobling i en borestreng i et borehull gjennom jordformasjoner, hvor verktøyet har et sylinderformet legeme som, når det er anbragt i borehullet, definerer et ringrom mellom borehullveggen og legemet, hvor ringrommet er fylt med et borefluidum som har oppfanget borkaks i seg, hvilket måleapparat omfatter

første og andre ultrasoniske senderanordninger som er anbragt diametralt overfor hverandre i det sylinderformede legeme for å emittere første og andre ultrasoniske sendepulser i borefluidet mot borehullveggen, idet klaringen mellom borehullveggen og det sylinderformede legemet ved den første ultrasoniske senderanordningen definerer en første avstand, og idet klaringen mellom borehullveggen og det sylinderformede legemet ved den andre ultrasoniske senderanordningen definerer en andre avstand, hvor de ultrasoniske pulser blir reflektert fra borehullveggen som første og andre borehullekkoer og fra de nevnte borkaks mot det sylinderformede legemet som første og andre borkaksekkkoer; og

første og andre ultrasoniske transduseranordninger anbragt i det sylinderformede legemet for å generere første og andre borehullekkosignaler som representerer de første og andre borehullekko-amplituder og -tidsforsinkelser, k a r a k t e r i s e r t v e d at de første og andre ultrasoniske transduseranordningene er innrettet for å generere første og andre borkaksekkosignaler som representerer de nevnte borkaksekkkoer, og ved

en logikkanordning for å skjelne det første borehullekkosignal og dets tidsforsinkelse i nærvær av det første borkaksekkosignal og for å generere et første avstandssignal som representerer den første avstanden og er direkte proporsjonalt med tidsforsinkelsen for det første borehullekko-signal fra emisjon av den første ultrasoniske puls og for å skjelne det andre borehullekkosignal og dets tidsforsinkelse

i nærvær av det annet borkaksekkosignal, og for å generere et andre avstandssignal som representerer den andre avstanden og er direkte proporsjonalt med tidsforsinkelsen for det annet borehullekkosignal fra emitteringen av den annen ultrasoniske senderpuls.

2. Apparat ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at den første og andre senderanordning emitterer den første og andre ultrasoniske senderpuls vekselvis i tid, idet logikkanordningen identifiserer det første borehullekkosignal etter at den første ultrasoniske senderpuls er emittert, og logikkanordningen identifiserer det annet borehullekkosignal etter at den annen ultrasoniske senderpuls er emittert.

3. Apparat ifølge krav 1 eller 2, videre k a r a k t e r i s e r t v e d en prosessoranordning for å generere de første og andre avstandssignaler et flertall ganger hvert sekund i et forutbestemt tidsintervall, og for å generere fra dette flertall av avstandssignaler et gjennomsnittlig første avstandssignal og et gjennomsnittlig andre avstandssignal for det nevnte tidsintervall.

4. Apparat ifølge krav 3, k a r a k t e r i s e r t v e d at det videre omfatter et minne for å lagre et diametersignal som representerer en diameter av verktøyets sylinderformede legeme, og en prosessoranordning for å generere et hulldiameter-signal som representerer en diameter for borehullet, ved å addere diametersignalet til det gjennomsnittlige første avstandssignal og til det gjennomsnittlige andre avstandssignal.

5. Apparat ifølge et av kravene 1 - 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at den første ultrasoniske senderanordning og den første ultrasoniske trans-

duseranordning og den annen ultrasoniske senderanordning og den annen ultrasoniske transduseranordning er i en enkelt sender/mottager hvor et sensorelement tjener som en sonisk sender og en sonisk mottager.

6. Apparat ifølge krav 1,

k a r a k t e r i s e r t v e d :

en forsinkelseslinje som er anbragt mellom senderanordningene og borefluidet i ringrommet, slik at et forsinkelseslinje-ekko blir produsert ved en grenseflate mellom forsinkelseslinjen og fluidet i ringrommet,

en logikkanordning som reagerer på ekkosignalene for senderanordningene for å identifisere nærvær av et forsinkelseslinje-ekkosignal, og for å lagre en tilnærmet maksimumsamplitude av et slikt ekkosignal periodisk som en funksjon av tid, og

en logikkanordning som reagerer på de tilnærmede maksimumsamplituder for forsinkelseslinjeekkoene som er lagret som en funksjon av tid, for å overvåke en forutbestemt indikator på de nevnte amplituder og å generere et gassinntrengnings-alarmsignal hvis amplitudeindikatoren er større enn en forutbestemt indikator.

7. Apparat ifølge krav 6,

k a r a k t e r i s e r t v e d

en kommunikasjonsanordning anbragt i borestrengen for å sende gassinntrengnings-alarmsignalet til en overflateanordning for å generere en alarm.

8. Apparat ifølge et hvilket som helst av de foregående krav,

k a r a k t e r i s e r t v e d at de ultrasoniske senderanordningene omfatter

en senderstabel som har et indre lydabsorberende bakkingselement,

en piezoelektrisk keramikkskive som er stablet utad nær det nevnte bakkingselement,

en forsinkelseslinje av et stivt materiale, anbragt utad fra keramikkskiven, hvor forsinkelseslinjen har en utadvendt konkav fordypning, og

første og andre elektriske kontakter, og indre og ytre elektrodeanordninger for å forbinde indre og ytre sider på skiven med den første og andre elektriske kontakt.

9. Apparat ifølge et hvilket som helst av de foregående krav,

k a r a k t e r i s e r t v e d en flerhet av finner som strekker seg radielt utover fra legemet, og ved at den første og den annen ultrasoniske senderanordning er montert på diametralt motsatte finner.

10. Fremgangsmåte for å detektere gassinnstrømming på et sted i et borehull med apparatet ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, omfattende de følgende trinn:

plassering av apparatet i borehullet, hvor apparatets sylinderformede legeme definerer et ringrom mellom borehullveggen og legemet, idet ringrommet inneholder et borefluidum, og

periodisk emisjon av en ultrasonisk senderpuls fra de ultrasoniske senderanordningene inn i borefluidet, perpendikulært mot borehullveggen, slik at den ultrasoniske puls blir reflektert fra borehullveggen som et borehullekko, k a r a k t e r i s e r t v e d at et borehull-ekkosignal genereres som representerer en tilnærmet maksimumsamplitude A for det nevnte borehullekko og dets tidsforsinkelse T fra emitteringen av den ultrasoniske puls,

at et flertall N av borehull-ekkosignalsett A_N , T_N lagres, og fra disse genereres et signal som representerer borefluidets soniske demping, og

at et gassinntrengnings-alarmsignal genereres hvis signalet som representerer borefluidets soniske demping, er over et forutbestemt nivå.

301185

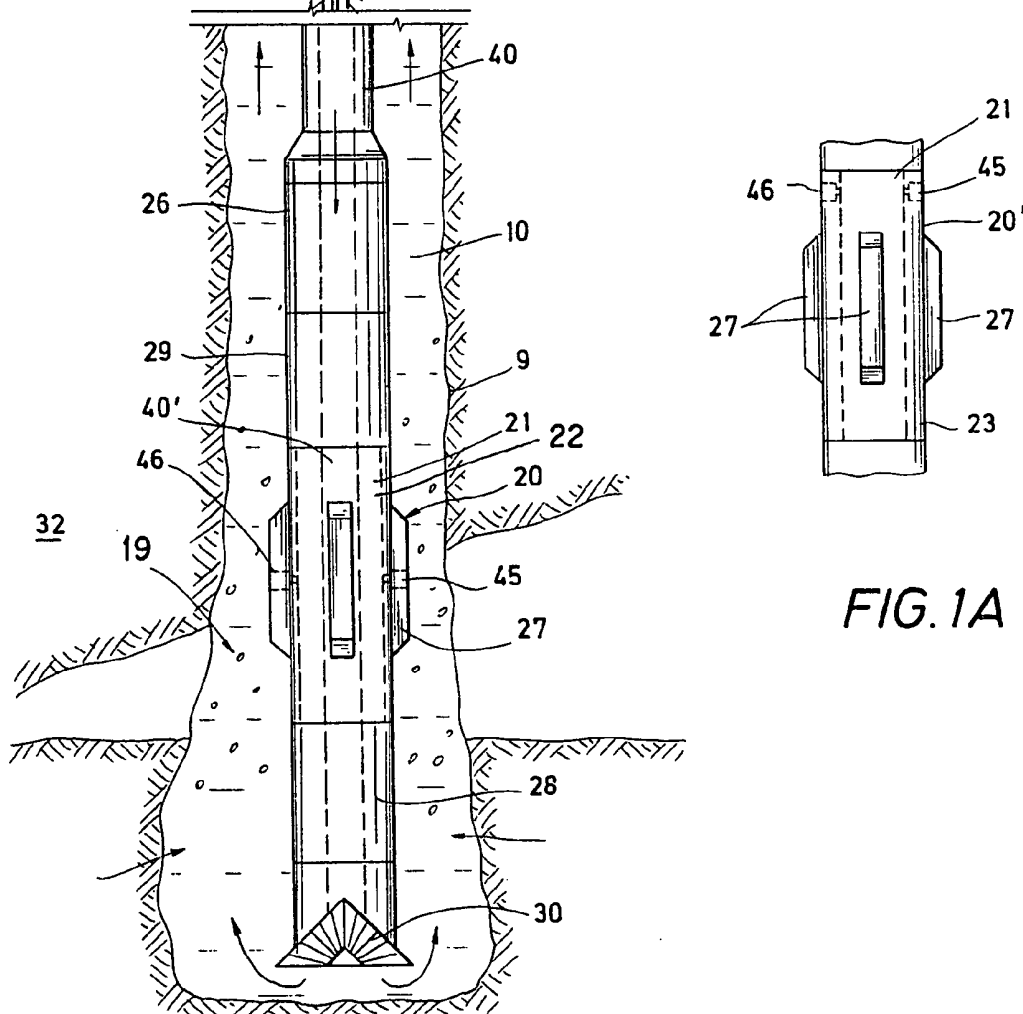
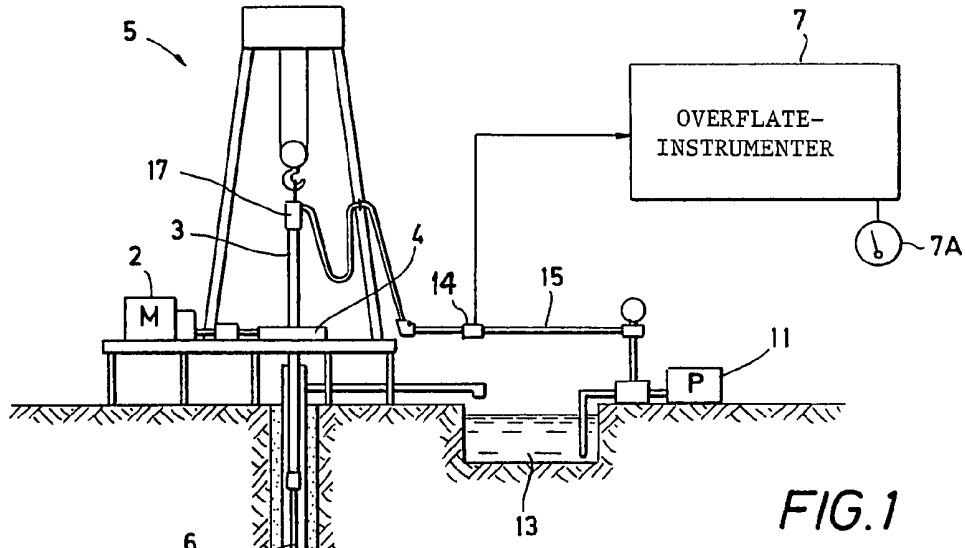


FIG. 2A

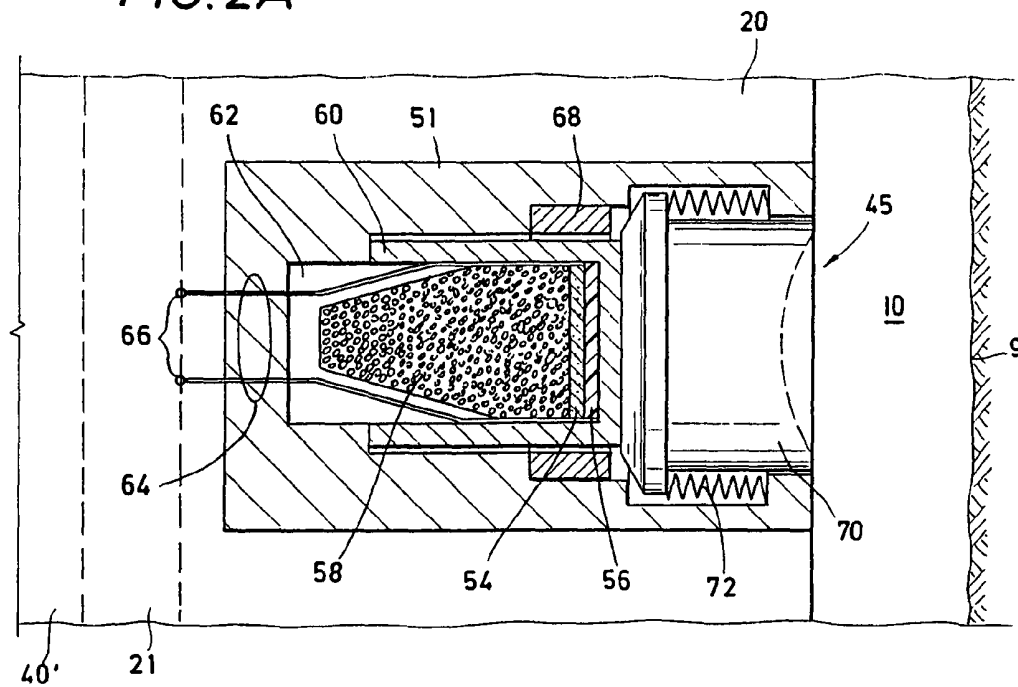


FIG. 2B

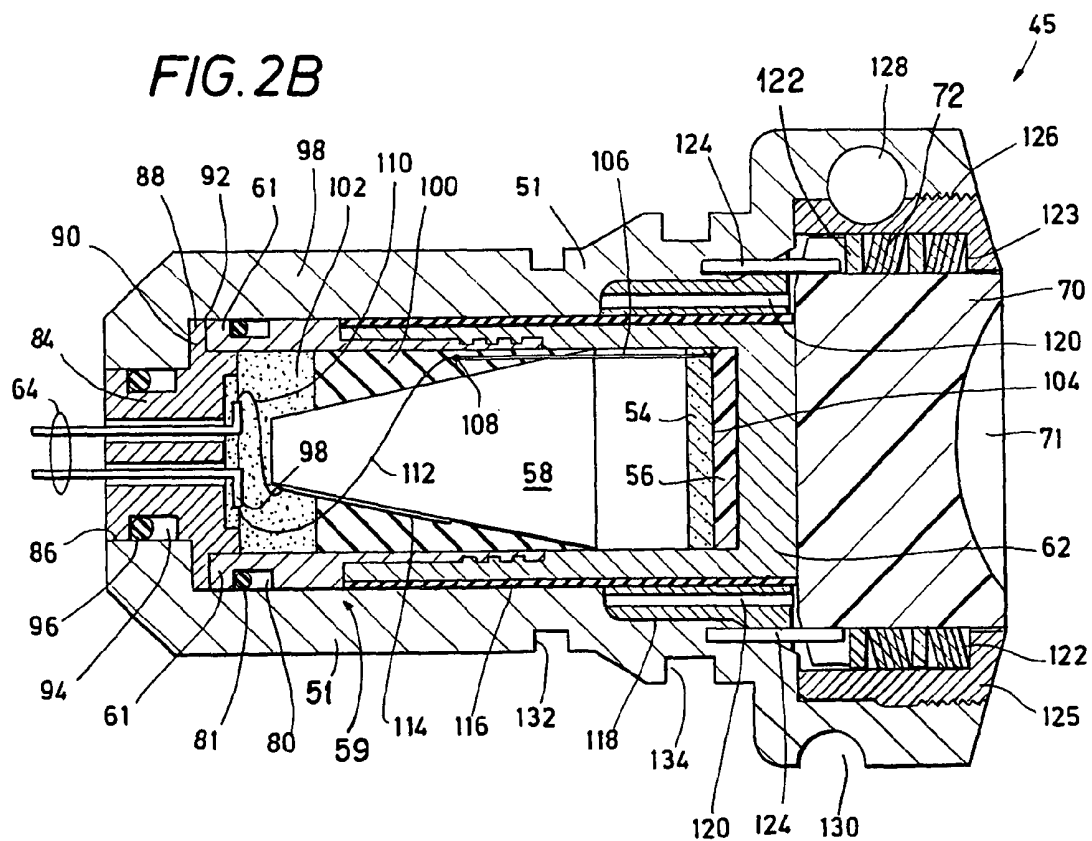
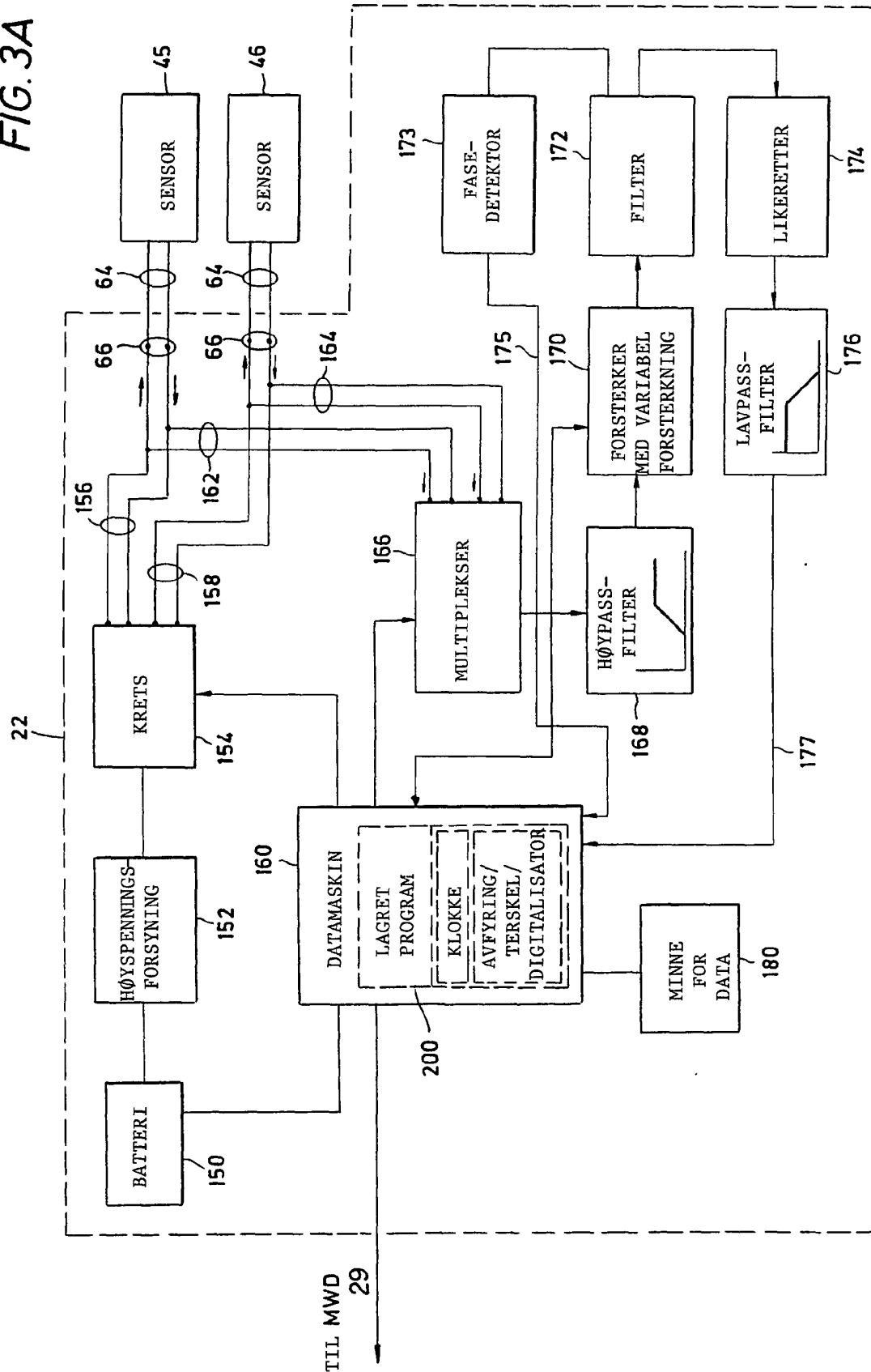


FIG. 3A



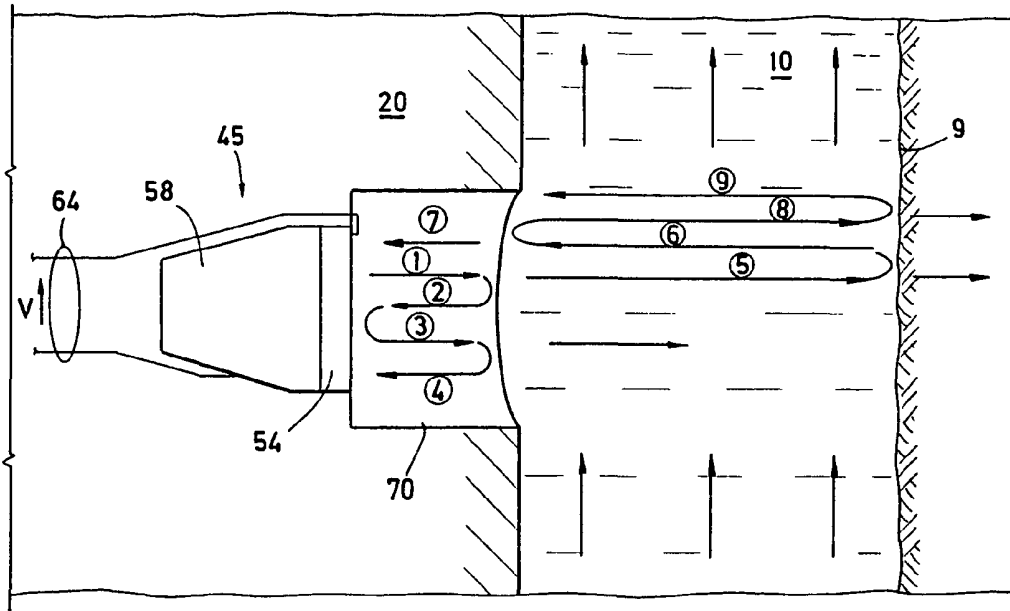


FIG. 4

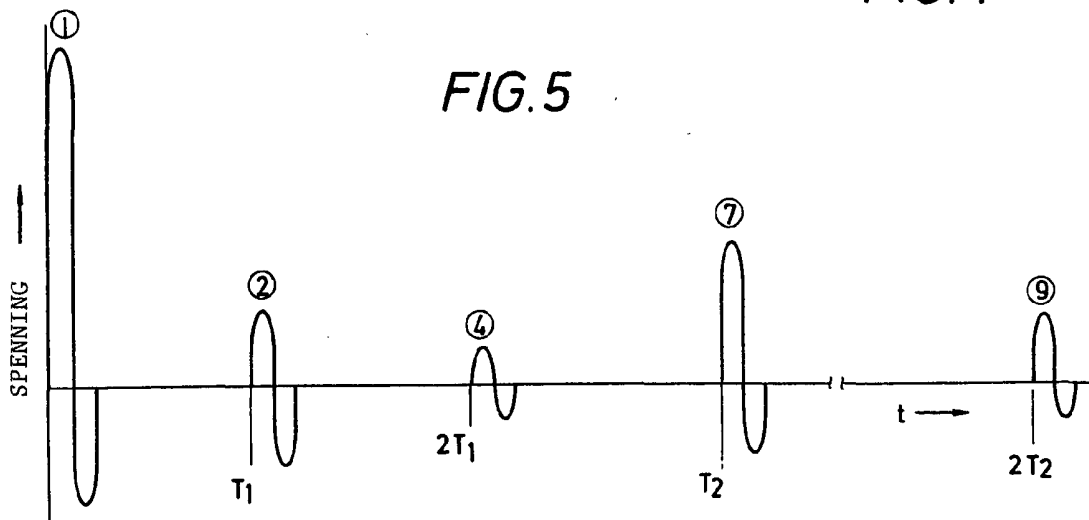


FIG. 5

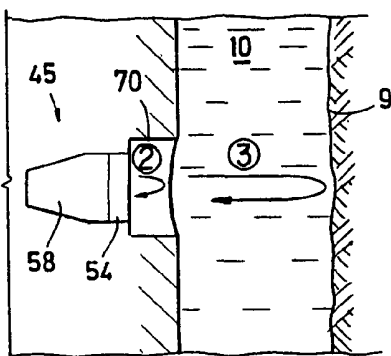


FIG. 6A

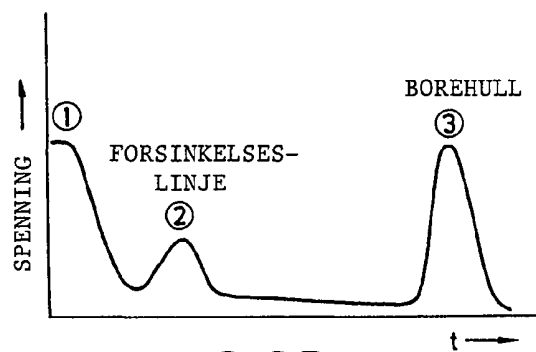


FIG. 6B

FIG. 7A

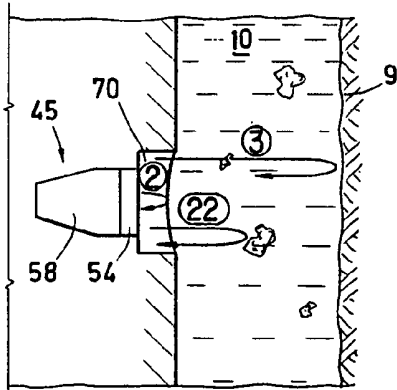


FIG. 7B

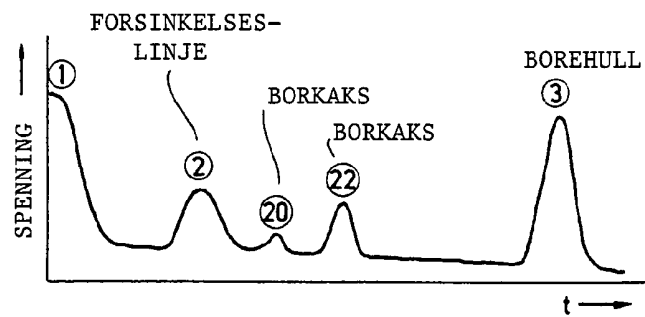


FIG. 8A

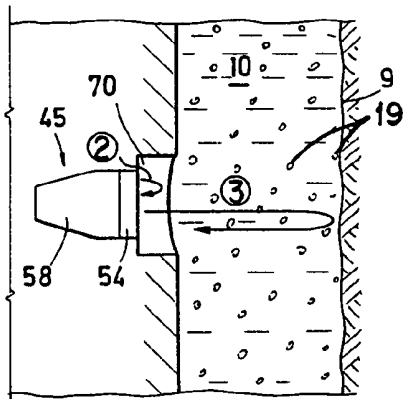


FIG. 8B

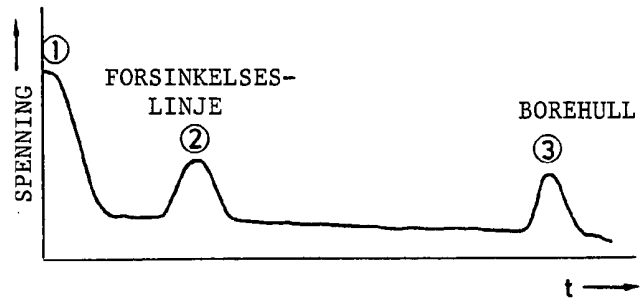


FIG. 9A

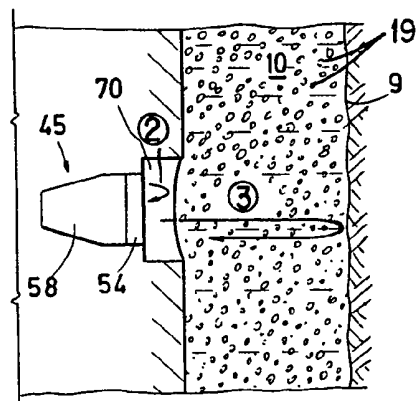


FIG. 9B

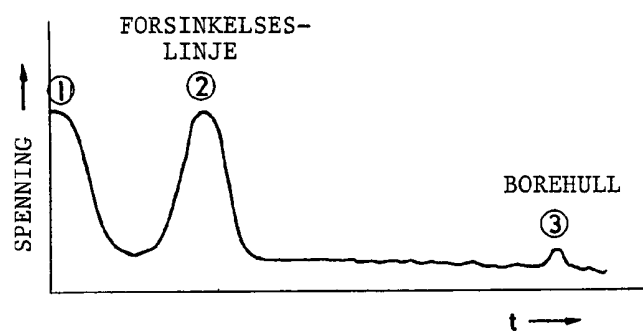


FIG. 3B

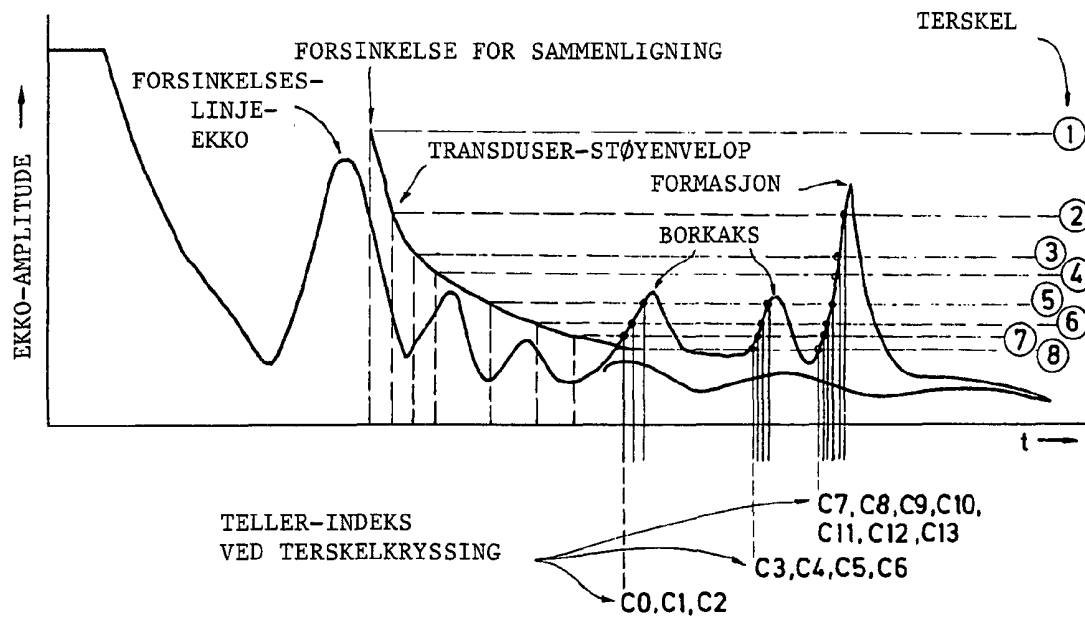


FIG. 9C

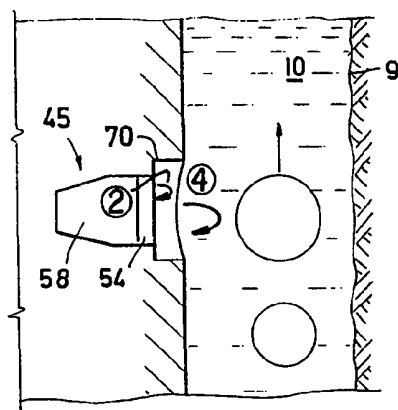
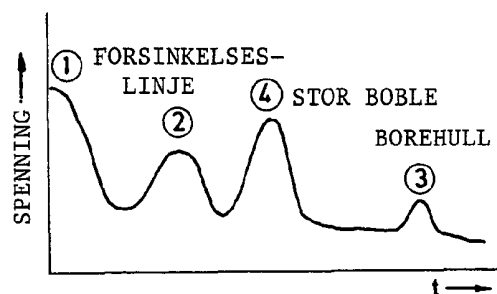


FIG. 9D



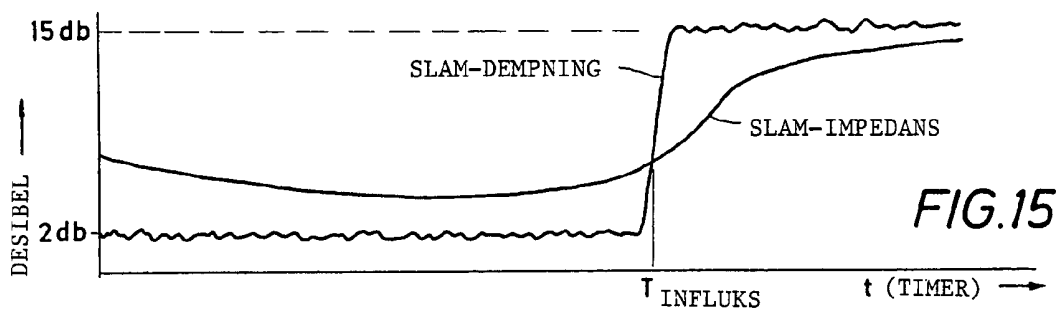
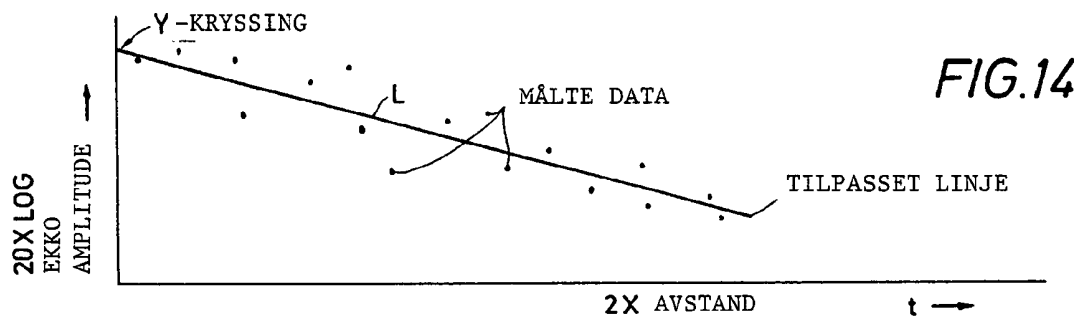
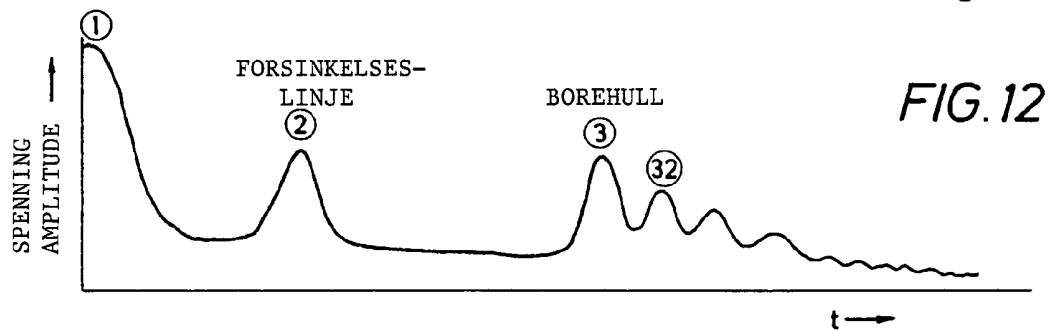
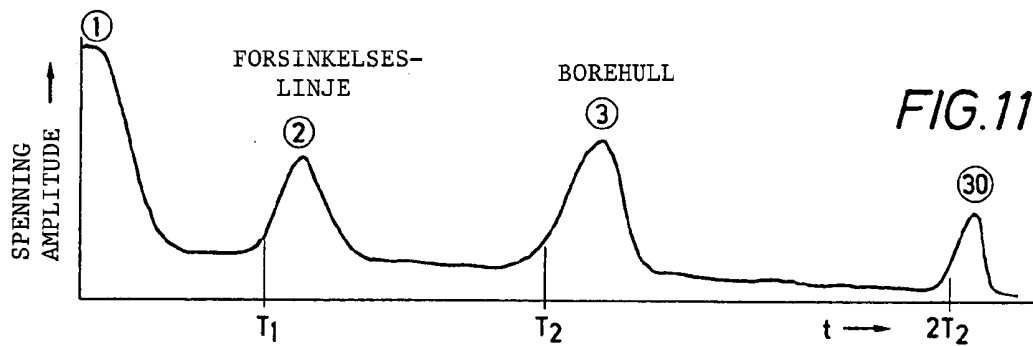
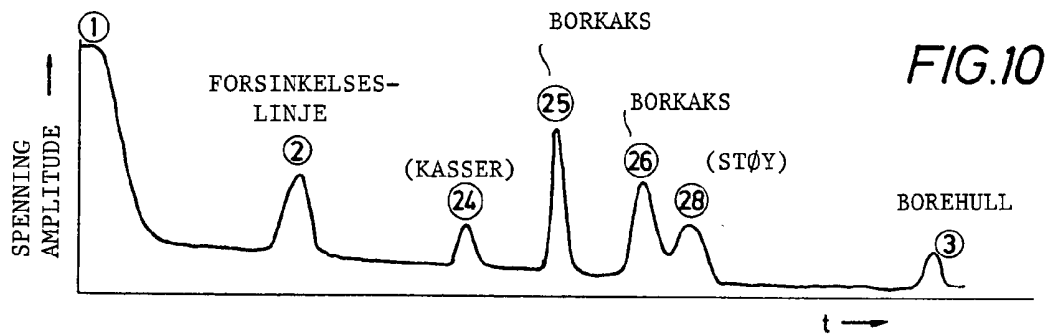


FIG.13

